

RAPPORTS

DREAL Haute Normandie
Service Ressources

Bureau Hydrométrie et
Prévision des Crues

Date 23/09/2014

Projet de station hydrométrique du Moulin de Lèves

Quelle(s) solution(s) en vue d'assurer un
« contrôle hydraulique » et la
franchissabilité des petites espèces ?



Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
de Haute-Normandie



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE



Direction régionale
de l'Environnement,
de l'Aménagement
et du Logement

HAUTE-NORMANDIE

Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
V1	23/09/14	Éléments de dimensionnement

Affaire suivie par

Stéphane HELOUIN et Stéphane PINEY - Bureau de l'Hydrométrie et de la Prévision des Crues
<i>Tél. : 02 32 81 16 45 / Fax : 02 32 81 35 99</i>
<i>Courriel : stephane.piney@developpement-durable.gouv.fr</i>

Rédacteurs

Stéphane Hélouin et Stéphane Piney - SRE/BHPC

Relecteurs

André Hébrard et Claude Girard - SRE/BHPC

A l'attention de :

Agglomération de Chartres-Métropole, Mme Hélène LE REGENT

SOMMAIRE

1 - INTRODUCTION.....	4
2 - MODÉLISATION DE LA SITUATION ACTUELLE.....	4
2.1 - Levé des profils en travers et construction du modèle.....	4
2.2 - Construction du modèle hydraulique.....	6
2.3 - Jaugeages réalisés par la Dreal Hte Normandie.....	7
2.4 - Calage du modèle.....	7
2.5 - Impact de l'incertitude de la contrainte aval sur les résultats.....	8
2.6 - Une chute de la ligne d'eau qui reste limitée, mais des vitesses élevées.....	9
2.7 - A partir de quel débit le seuil est noyé ?.....	10
2.8 - Impact du développement de la végétation.....	11
2.9 - Courbe de tarage au droit de la future station hydrométrique en situation actuelle.....	12
3 - LE PROJET.....	12
3.1 - Solution n°1 : la solution présentée (variante 2).....	12
3.1.1 - Présentation de la variante 2.....	12
3.1.2 - Résultats	13
3.2 - Éléments de prédimensionnement d'une échancrure dans le seuil.....	14
3.3 - Solution n°2 : proposition de dimensionnement d'une rampe avec « rangées périodiques » en enrochements partant d'une échancrure de 1,50 m de large.....	14
3.3.1 - Prédimensionnement.....	14
3.3.2 - Modélisation de la rampe ainsi dimensionnée.....	16
3.3.3 - Vérification de la franchissabilité pour les petites espèces.....	17
3.3.4 - Courbe de tarage théorique obtenue et vérification de l'existence effective « d'un contrôle hydraulique » sur la plage de débits souhaitée.....	17
4 - CONCLUSION.....	19

1 - Introduction

Ce rapport a pour objet de présenter les résultats de la modélisation hydraulique réalisée sur le site du moulin de Lèves à Chartres.

Cette modélisation a pour objet de :

pour l'état initial, situation actuelle

- déterminer à partir de quel débit le seuil est noyé ;
- déterminer une courbe de tarage théorique au droit de la future station ;
- dévaluer l'impact du développement de la végétation sur la courbe de tarage ainsi établie ;

en situation de projet

- définir des premières solutions techniques à même de répondre à une double exigence : permettre une continuité piscicole, et garantir au droit de la future station l'établissement d'une courbe de tarage indépendante des développements de végétation dans la plage de débits souhaitée par Chartres Métropole, à savoir $Q \in [0,88 ; 1,96] \text{ m}^3/\text{s}$ (dans la suite de l'étude nous retiendrons comme plage $[0,5 ; 2] \text{ m}^3/\text{s}$).

Il s'agit d'un document de travail dont l'objectif est d'évaluer la faisabilité technique du projet. La solution technique présentée n'est donc qu'une base de discussion ; elle devra être reprise par le bureau d'études chargé de la Maîtrise d'oeuvre du projet, à qui le modèle HEC-RAS pourra être cédé. Il appartiendra à ce même bureau d'études de réaliser le dossier d'autorisation au titre de la loi sur l'eau correspondant.

2 - Modélisation de la situation actuelle

2.1 - Levé des profils en travers et construction du modèle

Le site de Lèves a fait l'objet d'un relevé de profils en travers, des caractéristiques du seuil existant, et de l'ouvrage d'art situé au droit de la RD 105. 14 profils ont été déterminés ; ils correspondent respectivement à (de l'amont vers l'aval) :

- n°1 : au droit de la future station, en aval immédiat de la passerelle existante ;
- n°2 : en amont immédiat du seuil ;
- n°3 : en aval immédiat du seuil ;
- n°4 : au droit de l'élargissement sous le moulin en RG ;
- n°5 : profil intermédiaire en vue de caractériser la « remontée » du lit mineur ;
- n°6 : au droit de l'élargissement en amont du pont ;
- n°7 et 8 : en vue d'encadrer l'ouvrage sur la RD 105 ;

- n°9 : en vue de caractériser le rétrécissement en aval de l'ouvrage ;
- n°10 et 11 : profils intermédiaires, dont le n°10 caractérise l'élargissement sous la route en RD ;
- n° 12 : au droit d'un seuil naturel et atterrissement en RG sur l'Eure ;
- n°13 à 14 : positionnés suffisamment à l'aval, pour que l'incertitude sur la contrainte aval n'ait pas d'impact au droit du secteur d'études.

Pour chacun de ces profils, seul le lit mineur a été levé : il s'agit ici de voir dans quelle mesure, pour les situations d'étiage, le seuil offre toujours un contrôle hydraulique permettant une même relation $Q = f(H)$ indépendamment du développement de la végétation sur l'Eure à l'aval du seuil.

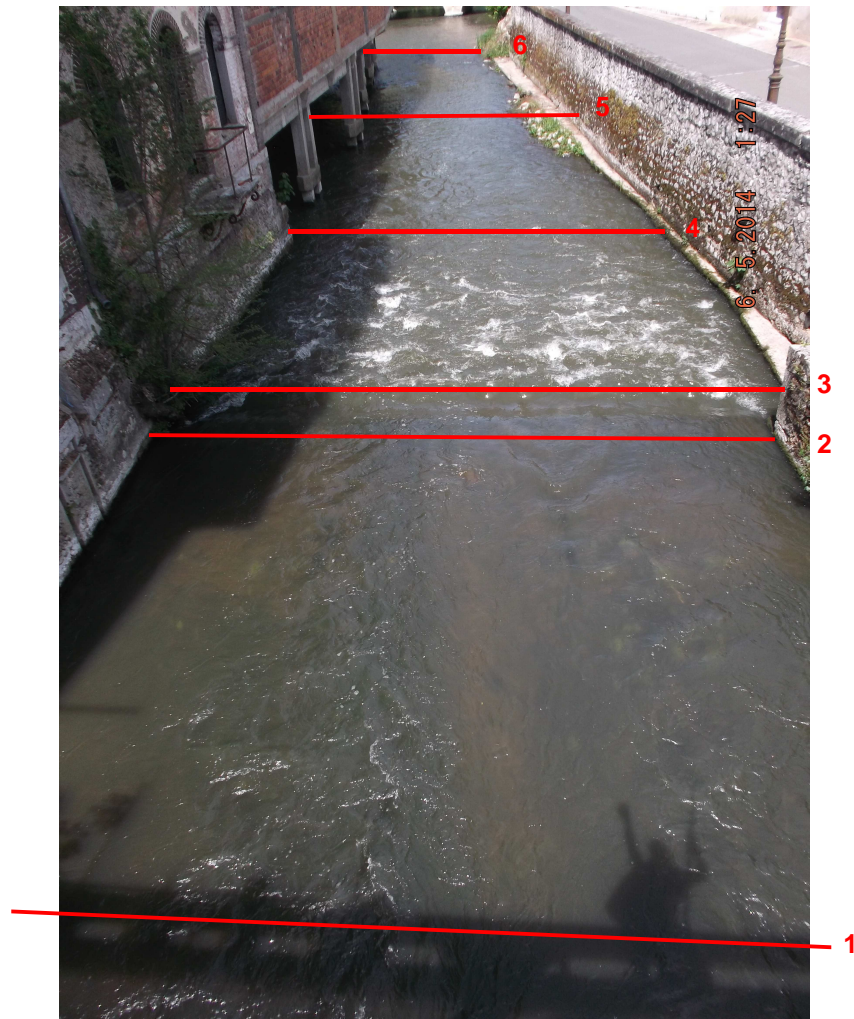


Illustration 1 : positionnement des profils en aval immédiat du site, vue vers l'aval (le seuil et son ressaut au premier plan, la pile centrale de l'ouvrage d'art à l'arrière plan)

Ces levés ont été réalisés par le cabinet Servicad mi août 2014. Au droit de chacun des 14 profils en travers relevés, la cote de la ligne d'eau a été nivelée par le cabinet Servicad le jour du jaugeage réalisé le 20 août 2014.

2.2 - Construction du modèle hydraulique

Le modèle hydraulique a été construit sous HEC-RAS v. 4.1.0 (modèle 1D). Il est utilisé dans le cadre de cette étude en régime permanent.

La figure ci-dessous présente le modèle construit : l'ensemble des profils en travers saisis, ici non interpolés. Le profil n°4 a été copié (4bis) en amont immédiat pour rendre compte de l'élargissement brusque sous le moulin, en vue de caractériser la potentielle perte de charge singulière correspondante.



Illustration 2 : vue en plan, positionnement de l'ensemble des profils en travers (plan sans échelle)

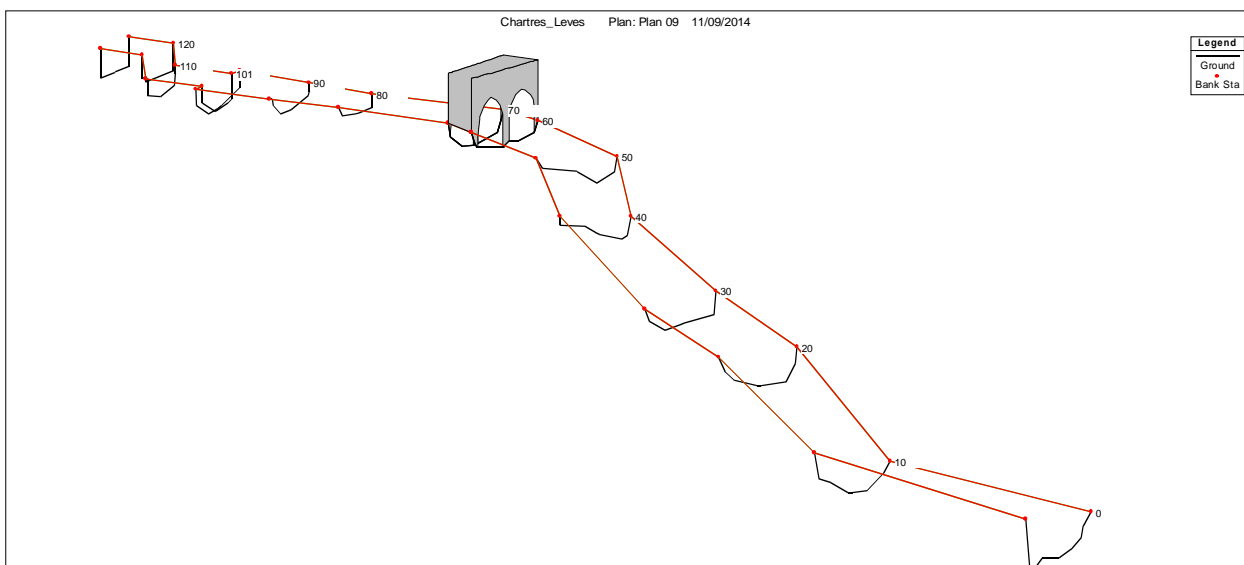


Illustration 3 : vue des profils saisis sous HEC-RAS avant interpolation

2.3 - Jaugeages réalisés par la Dreal Hte Normandie

Deux jaugeages de l'Eure ont été réalisés au moulinet en amont immédiat du seuil existant :

- le 10 avril 2014 : $Q = 1,67 \text{ m}^3/\text{s}$ (la lame d'eau mesurée au droit de la section de jaugeage située environ à 1,5 m en amont du seuil était de $h \approx 0,21 \text{ m}$) ;
- le 20 août 2014 : $Q = 2,02 \text{ m}^3/\text{s}$ (la lame d'eau mesurée au droit de la section de jaugeage située environ à 1,5 m en amont du seuil était de $h \approx 0,25 \text{ m}$).

2.4 - Calage du modèle

L'ensemble des données mesurées le 20 août 2014 ont permis de caler le modèle, à savoir déterminer les coefficients de Strickler en lit mineur caractéristiques des pertes de charges linéaires.

Profil		K (coefficient de Manning Strickler)	z (m) IGN69 observée	z (m) IGN69 modélisée	$\Delta(z)$ cm
n° du relevé topographique	n° sous HEC-RAS				
13	0	15	119.26	119.26	-
12bis	10		119.30	119.29	+ 1 cm
12	20		119.37	119.36	+ 1 cm
11	30		119.54	119.46	+ 8 cm
10	40	25	119.58	119.61	- 3 cm
9	50	15	119.59	119.62	- 3 cm
8	60		119.65	119.67	- 2 cm
Ouvrage d'art - RD 105					
7	70	15	119.66	119.67	-1 cm
6	80		119.72	119.73	- 1 cm
5	90		119.78	119.79	- 1 cm
4	100		119.80	119.78	+ 2 cm
3	110		119.85	119.80	+ 5 cm
2	120	30	119.95	119.88	+ 7 cm
1	130		119.99	119.98	+ 1 cm

Au droit du profil de jaugeage, la hauteur mesurée était de $h \approx 0,25 \text{ m}$ contre une hauteur modélisée de $h = 0,23 \text{ m}$.

Les valeurs de Strickler retenues sont relativement faibles vis à vis des valeurs couramment admises en lit mineur de cours d'eau. Elles sont sans doute liées aux faibles hauteurs d'eau correspondantes : l'impact de la rugosité du fond et des berges n'étant que plus fort sur les pertes de charges linéaires.

Enfin, la hauteur modélisée au droit de la section de jaugeage pour la situation du 10 avril 2014 ($Q = 1,67 \text{ m}^3/\text{s}$), est de $h \approx 0,21 \text{ m}$, contre une hauteur mesurée identique, ce qui permet de confirmer la valeur retenue de $K = 30$ pour le radier en amont du seuil.

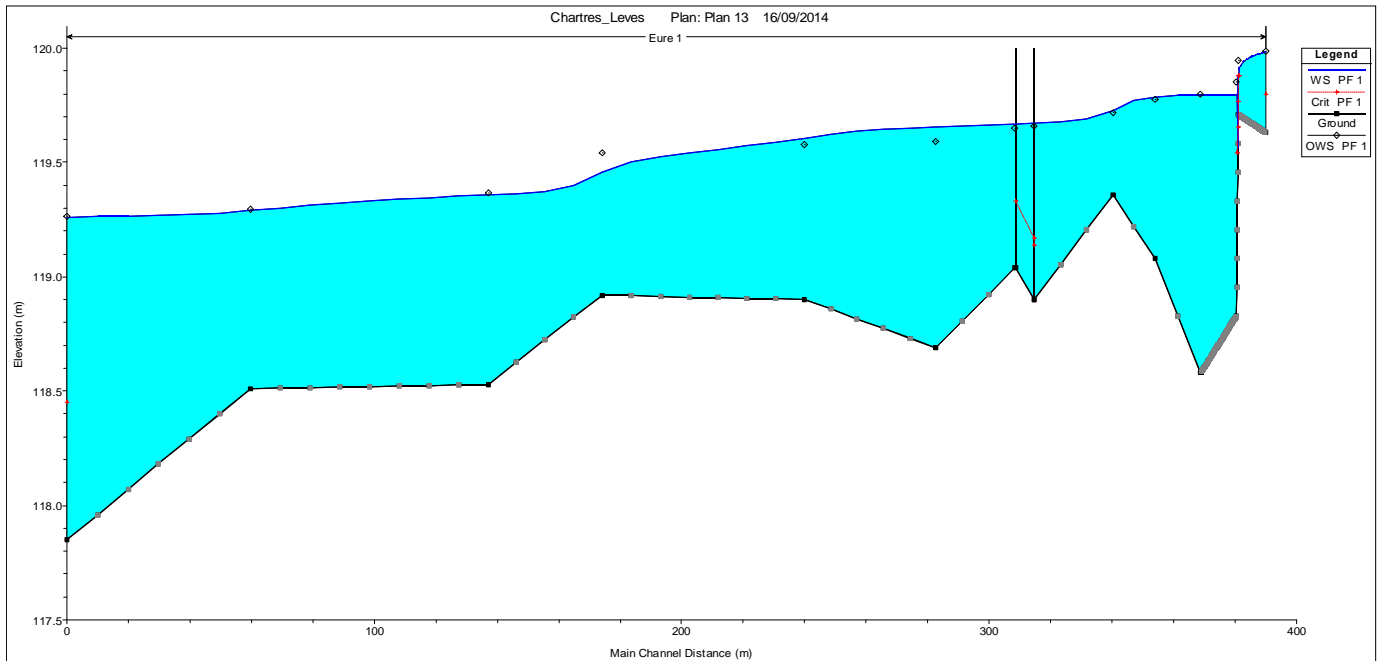


Illustration 4 : profil en long de la ligne d'eau modélisée pour la journée du 20 août 2014 et niveaux mesurés au droit de chaque profil

2.5 - Impact de l'incertitude de la contrainte aval sur les résultats

Il s'agit ici de vérifier que l'incertitude de la contrainte aval n'a pas d'impact sur les cotes de lignes d'eau modélisées au droit du seuil.

Nous avons fait varier de ± 20 cm cette contrainte, en prenant comme contrainte aval la hauteur normale correspondant à une pente de $I = 0,02\%$ (pente à adopter pour obtenir une hauteur normale correspondant à la valeur mesurée le 20 août 2014).

N° de profil du relevé topo	N° de profil sous HEC-RAS	Q = 1 m ³ /s			Q = 2 m ³ /s			Q = 3 m ³ /s		
		z (m) IGN69			z (m) IGN69			z (m) IGN69		
1	130	119.89	119.89	119.89	119.98	119.98	119.98	120.05	120.05	120.05
2	120	119.82	119.82	119.82	119.88	119.88	119.88	119.94	119.94	119.94
3	110	119.64	119.64	119.64	119.79	119.79	119.79	119.9	119.9	119.93
4	100	119.64	119.64	119.64	119.78	119.78	119.79	119.89	119.9	119.93
5	90	119.64	119.64	119.64	119.77	119.78	119.78	119.88	119.89	119.92
6	80	119.58	119.58	119.58	119.71	119.71	119.72	119.81	119.82	119.87
7	70	119.48	119.48	119.48	119.64	119.64	119.67	119.75	119.76	119.83
8	60	119.47	119.47	119.47	119.63	119.64	119.66	119.74	119.76	119.83
9	50	119.46	119.46	119.46	119.62	119.62	119.65	119.72	119.74	119.82
10	40	119.43	119.43	119.43	119.57	119.58	119.61	119.67	119.7	119.79
11	30	119.32	119.32	119.32	119.43	119.46	119.54	119.55	119.62	119.75
12	20	119.06	119.09	119.2	119.27	119.36	119.5	119.45	119.57	119.73
12bis	10	118.89	118.99	119.16	119.13	119.29	119.47	119.34	119.51	119.7
13	0	118.75	118.95	119.15	119.06	119.26	119.46	119.29	119.49	119.69

Tableau 1 : impact de l'incertitude sur la contrainte aval sur les résultats de la modélisation

Il apparaît à la lecture des résultats que l'incertitude sur la contrainte aval n'a pas d'impact sur les résultats pour des débits $Q = 1$ et $2 \text{ m}^3/\text{s}$. Pour un débit de l'Eure de $Q = 3 \text{ m}^3/\text{s}$, l'impact est de $\Delta = 3 \text{ cm}$ sur le profil aval du seuil. Pour la plage de débit $[0,5 ; 2] \text{ m}^3/\text{s}$ à laquelle s'intéresse Chartres-

Métropole l'impact de cette incertitude sur les hauteurs d'eau modélisées au droit du seuil est bien nul.

2.6 - Une chute de la ligne d'eau qui reste limitée, mais des vitesses élevées

Nous faisons figurer ci-dessous les cotes de la ligne d'eau obtenues au droit du seuil, respectivement au droit des profils n°1 [130] (future station), n°2 [120] (crête du seuil) et n°3 [120] (aval du seuil). Ces valeurs révèlent une chute de la ligne d'eau limitée ($< 0,22$ m), y compris pour un faible débit de l'Eure $Q = 0,5$ m³/s ($< Q_{MNA5}$). On remarquera qu'à partir d'un débit de l'Eure $Q = 1,4$ m³/s la cote aval est supérieure à la crête du seuil existant ($z_{\text{seuil}} = 119,71$ m NGF69).

Q(m ³ /s)	z(m) NGF69 au droit du profil n°1 (future station) [130]	z(m) NGF69 au droit du profil n°2 (la crête du seuil) [120]	z(m) NGF69 au droit du profil n°3 (le profil aval du seuil) [110]	Chute Δz (m) entre les profils n°2 et 3 amont/aval seuil	V (m/s) maximale observée (en aval immédiat du seuil)
0.5	119.84	119.78	119.56	0.22	1.83
0.6	119.85	119.79	119.58	0.21	1.86
0.7	119.86	119.80	119.59	0.21	1.9
0.8	119.87	119.80	119.61	0.19	1.94
0.9	119.88	119.81	119.63	0.18	1.97
1	119.89	119.82	119.65	0.17	2
1.1	119.9	119.83	119.66	0.17	2.02
1.2	119.91	119.83	119.68	0.15	2.04
1.3	119.92	119.84	119.69	0.15	2.07
1.4	119.93	119.84	119.71	0.13	2.1
1.5	119.94	119.85	119.72	0.13	2.12
1.6	119.95	119.86	119.74	0.12	2.14
1.7	119.96	119.86	119.75	0.11	2.16
1.8	119.96	119.87	119.77	0.1	2.18
1.9	119.97	119.87	119.78	0.09	2.2
2	119.98	119.88	119.79	0.09	2.22
2.1	119.99	119.89	119.81	0.08	2.24
2.2	120	119.89	119.82	0.07	2.24

Tableau 2 : cote de la ligne d'eau et vitesse maximale au droit du seuil du moulin de Lèves pour différents débits de l'Eure en situation actuelle

Les vitesses maximales observées (elles le sont en aval immédiat du seuil) sont cependant toujours supérieures à 1,50 m/s limitant la franchissabilité des « petites espèces ».

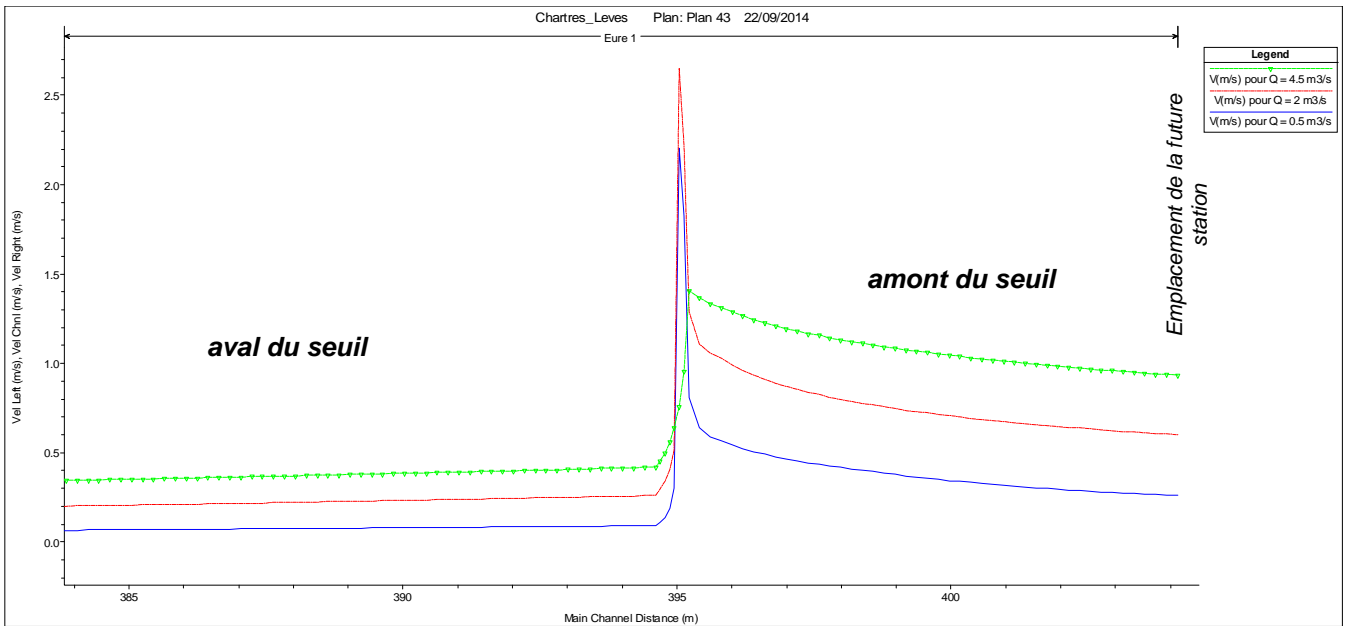


Illustration 5 : profil en long des vitesses en situation actuelle pour $Q = 0.5, 2 \text{ et } 4.5 \text{ m}^3/\text{s}$

2.7 - A partir de quel débit le seuil est noyé ?

Le déversoir auquel nous avons affaire est un seuil à crête épaisse et longue $h_1/C < 0,1$ (avec C (m) longueur du seuil, et h_1 (m) lame d'eau sur le seuil¹). Parmi cette catégorie, le déversoir en question peut être défini à « longueur longitudinale non finie » au regard de la longueur du seuil (cf. Notice sur les déversoirs. CETMEF, février 2005).

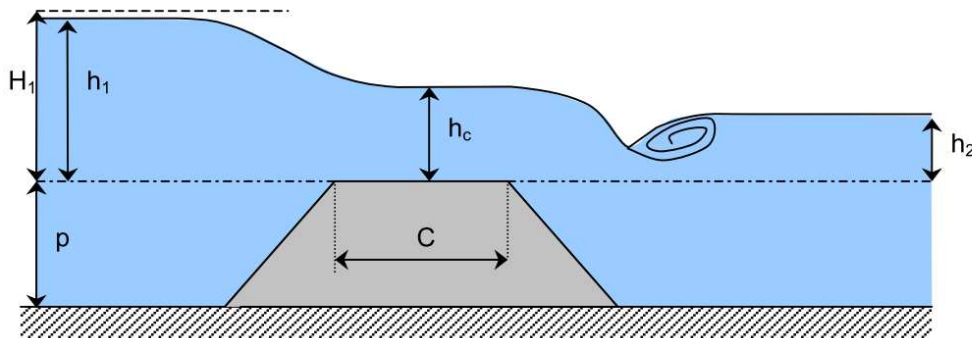


Illustration 6 : seuil à crête épaisse et longue (ici de profil en long trapézoïdale), en écoulement dénoyé avec $h_2 > 0$, extrait de Notice sur les déversoirs. CETMEF, février 2005, p. 72 - de longueur non finie dans notre cas $C \gg h_1$

Pour un seuil « en pavés », de section longitudinale trapézoïdale (ce que nous supposons ici), l'écoulement est noyé pour peu que $h_2/h_1 < 0,8$ (avec h_2 (m) hauteur d'eau aval au-dessus du seuil ($Z_{\text{seuil}} = 119.71 \text{ m NGF69}$)).

Nous avons donc modélisé les différentes situations de débits suivantes, en vue de connaître à partir

1 valeur prise au-delà du remous d'exhaussement du seuil (cf. Notice sur les déversoirs. CETMEF, février 2005), soit ici au droit du profil n°1 (130 sous HEC-RAS).

de quel débit le seuil est noyé. La valeur du Froude calculée au droit du seuil permettant de vérifier si le passage par le régime critique est effectivement observé.

Q (m ³ /s)	h ₁ (m)	h ₂ (m)	h ₂ /h ₁
1.8	0.25	0.06	0.24
2	0.27	0.08	0.3
2.2	0.29	0.11	0.38
2.4	0.3	0.13	0.43
2.6	0.31	0.16	0.52
2.8	0.33	0.18	0.55
3	0.34	0.21	0.62
3.2	0.35	0.23	0.66
3.4	0.36	0.25	0.69
3.6	0.37	0.28	0.76
3.8	0.38	0.3	0.79
3.9	0.39	0.32	0.82
4	0.39	0.33	0.85
4.1	0.4	0.34	0.85
4.2	0.4	0.35	0.88
4.3	0.41	0.37	0.9
4.4	0.41	0.38	0.93

F = 1 au droit du seuil (profil n°2 (120 HEC-RAS))

F = 0.99 au droit du seuil (profil n°2 (120 HEC-RAS))

F = 0.88 au droit du seuil (profil n°2 (120 HEC-RAS))

Tableau 3 : pour quel débit le seuil est noyé ?

A la lecture du tableau précédent, il apparaît que le seuil est noyé à partir d'un débit $Q \approx 4,2 \text{ m}^3/\text{s}$, et non $3,9 \text{ m}^3/\text{s}$ comme le laissait supposer la formule de la littérature. Plus prudemment, on retiendra un passage en régime noyé à partir d'un débit de l'ordre de **$Q \approx 4 \text{ m}^3/\text{s}$** .

Toujours est-il que pour la plage de débits qui nous intéresse à savoir $Q \in [0,5 ; 2] \text{ m}^3/\text{s}$ le seuil est bien dénoyé, et le contrôle hydraulique effectif (passage par le régime critique) quand bien même, comme on l'a vu, la cote aval est supérieure à celle du seuil dès $Q = 1,4 \text{ m}^3/\text{s}$.

2.8 - Impact du développement de la végétation

Il s'agit ici de vérifier que le développement de la végétation sur la gamme de débits qui nous intéresse à savoir $Q \in [0,5 ; 2] \text{ m}^3/\text{s}$ nous permet de conserver un contrôle hydraulique au droit du seuil.

Pour simuler cette situation, nous avons diminué d'un facteur 1.5 l'ensemble des valeurs de Strickler du lit de l'Eure à l'aval du seuil.

Il apparaît que dans cette situation le seuil reste dénoyé. Pour un débit $Q = 2 \text{ m}^3/\text{s}$, on a $h_2 = 0,19 \text{ m}$ et $h_1 = 0,27 \text{ m}$, soit $h_2/h_1 = 0,7$: le seuil reste dénoyé ; ce que vérifie le modèle avec bien un passage par le régime critique au droit du seuil.

2.9 - Courbe de tarage au droit de la future station hydrométrique en situation actuelle

Sur la base du calage réalisé, il est possible d'établir la courbe de tarage théorique suivante au droit de la future station. On retrouve la cassure correspondant à $Q \approx 4,2 \text{ m}^3/\text{s}$, à partir de laquelle le seuil est noyé. Les valeurs correspondantes figurent en annexe n°1.

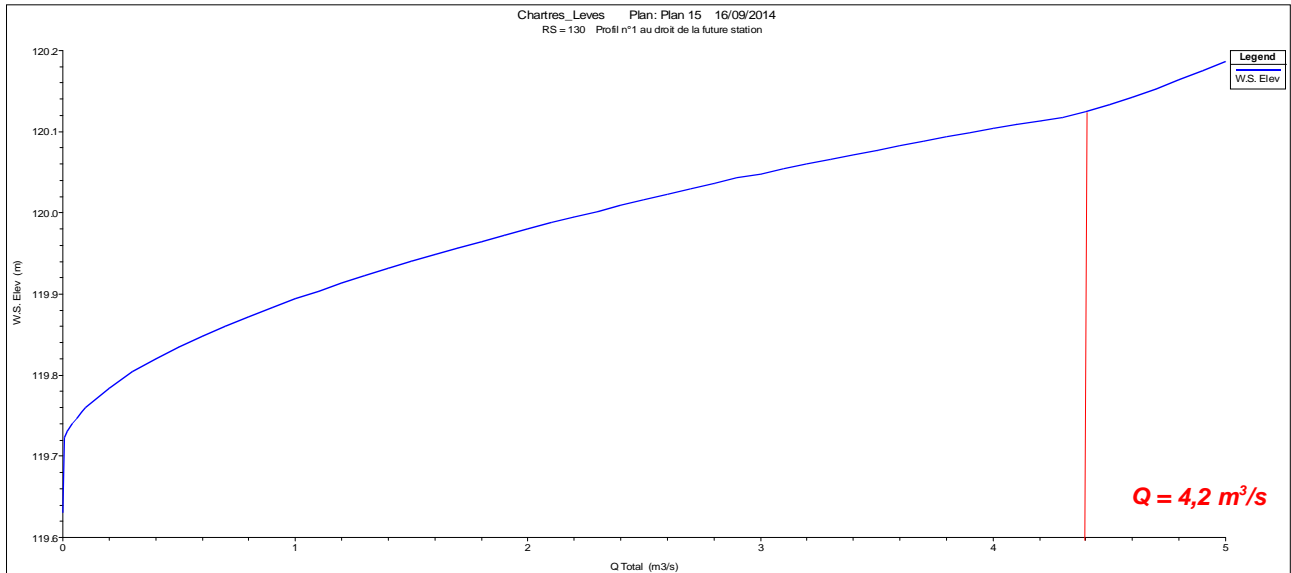


Illustration 7 : courbe de tarage théorique en situation actuelle au droit de la future station hydrométrique

3 - Le projet

3.1 - Solution n°1 : la solution présentée (variante 2)

3.1.1 - Présentation de la variante 2

La solution présentée consiste à créer une échancrure rectangulaire de largeur 7 m dont le radier au niveau du seuil est descendue à 119,49 m NGF69 (contre 119,71 m NGF69) venant « s'amortir » vers l'amont jusqu'à atteindre la cote du fond existante au droit de la future station (119,64 m NGF69).

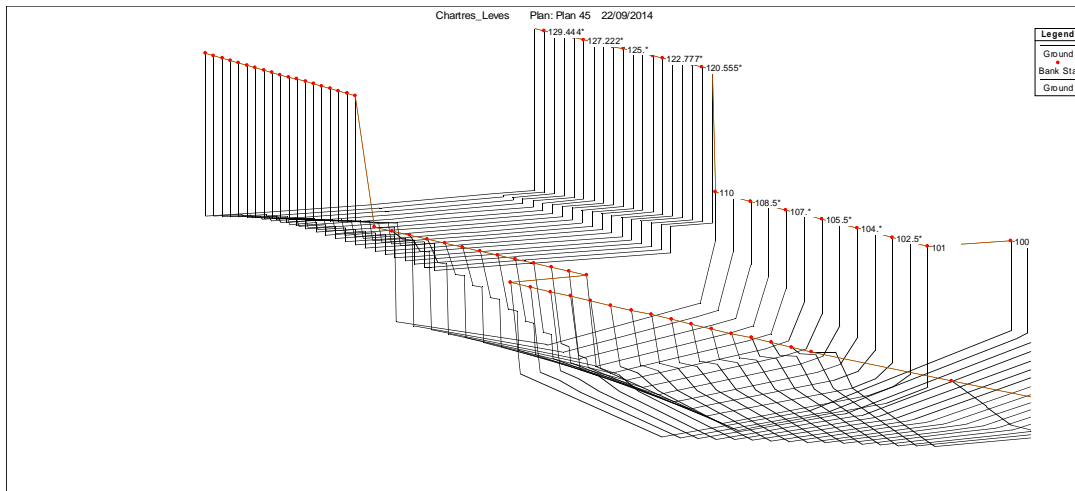


Illustration 8 : vue de l'échancrure modélisée (variante 2)

3.1.2 - Résultats

Pour cette solution technique, on observe que le seuil est noyé dès une valeur du débit de l'Eure $Q = 1,3 \text{ m}^3/\text{s}$. Un développement de la végétation a alors un impact significatif, comme le met en évidence le tableau ci-dessous (en partant de la même hypothèse, à savoir une diminution d'un facteur 1.5 des valeurs de Manning Strickler).

Q (m ³ /s)	z(m) NGF69 au droit de la station	z(m) NGF69 au droit de la station, avec "développement de la végétation"	Δ (cm)
0.8	119.76	119.76	0
0.9	119.77	119.77	0
1	119.78	119.78	0
1.1	119.79	119.8	1
1.2	119.8	119.81	1
1.3	119.8	119.82	2
1.4	119.81	119.83	2
1.5	119.82	119.84	2
1.6	119.83	119.85	2
1.7	119.84	119.87	3
1.8	119.85	119.88	3
1.9	119.85	119.9	5
2	119.86	119.91	5

Tableau 4 : impact du développement de la végétation (diminution des valeurs de Strickler d'un facteur 1.5) sur les valeurs mesurées au droit de la future station sur la base de la variante 2 proposée

En clair une cote mesurée de 119.86 m IGN69 au droit de l'échelle correspondra à un débit $Q = 2 \text{ m}^3/\text{s}$, pour une situation de végétation « correspondant à celle du 20 août 2014 », contre un débit de seulement $Q = 1,65 \text{ m}^3/\text{s}$ pour un développement de la végétation correspondant à une diminution des coefficients de Manning Strickler de 1.5.

3.2 - Éléments de prédimensionnement d'une échancrure dans le seuil

Il s'agit de déterminer la cote minimale de l'échancrure d'une longueur L (m) à pratiquer dans le seuil (de cote $z = 119,71$ m NGF69) de telle sorte que pour $Q = 2$ m³/s (débit maximal de la plage de valeurs) le seuil ne soit pas noyé.

Sur la base d'une cote aval (z_2 (m)) établie à 119,85 m NGF69 (cf. valeur mesurée le 20 août 2014), via l'application de la formulation d'un déversoir trapézoïdal à crête épaisse de longueur non finie (cf. CETMEF, février 2005, $Q = \mu L h_1^{3/2}$ (Q(m³/s), $\mu = 1.66$, seuil « pavé », avec $h_1 > 0,2$ m)), on obtient au regard des longueurs des différentes échancrures pratiquées, les cotes minimales de seuil suivantes :

L(m) échancrure pratiquée dans le seuil	z_{seuil} (m) minimale	Q (m ³ /s) passant dans l'échancrure	V (m/s) dans l'échancrure	h_1 (m) lame d'eau sur le seuil
7	119,63	1,68	0,87	0,28
6	119,62	1,53	0,89	0,29
5	119,61	1,37	0,91	0,3
4	119,59	1,2	0,94	0,32
3	119,57	1,01	0,98	0,35
2	119,54	0,79	1,03	0,38
1,5	119,52	0,66	1,07	0,41
1	119,49	0,5	1,11	0,45
0,75	119,47	0,4	1,14	0,47

Tableau 5 : cote minimale de l'échancrure à adopter dans le seuil existant en fonction de sa longueur en vue de garantir que le seuil ne soit pas noyé pour $Q = 2$ m³/s

Il ressort que l'abaissement du seuil existant (cote de 119.71 m NGF69) ne peut être que limité : 20 cm au maximum pour une échancrure de 1 m de large, 10 cm pour une échancrure de 4 m de large.

Pour les solutions finales qui seront modélisées, nous proposons de retenir à l'image de la variante n°2 présentée une échancrure qui vient « mourir » sur le radier existant au droit de la future station.

3.3 - Solution n°2 : proposition de dimensionnement d'une rampe avec « rangées périodiques » en enrochements partant d'une échancrure de 1,50 m de large

3.3.1 - Prédimensionnement

N'étant pas spécialistes en la matière, nous nous bornons ici à indiquer quelques pistes, qui devront être reprises, et vraisemblablement amendées par le bureau d'études chargé de la conception de la passe.

Si on adopte les cotes minimales pour l'échancrure à pratiquer dans le seuil telles que décrites dans le tableau précédent, le seuil est noyé au-delà de $Q = 2$ m³/s : d'où une absence de ressaut hydraulique, et donc une continuité piscicole a priori assurée.

En vue d'assurer la franchissabilité des petites espèces, nous proposons d'étudier la mise en place d'une rampe dans la continuité de l'échancrure pratiquée, et de partir sur l'hypothèse d'une rampe en enrochements en « rangées périodiques » (une rampe en enrochements jointifs étant peu conseillée pour les petites espèces), en nous inspirant du Guide technique pour la conception des passes « naturelles », décembre 2006 Cemagref, CSP, ENSEEIHT.

La hauteur d'eau sera d'au moins 0,2 m (à vérifier pour un débit de l'Eure $Q = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$) et la chute sera limitée à 0,10- 0,15 m (soit $V = 1.5 - 1.7 \text{ m/s}$), à vérifier cette fois-ci pour $Q = 2 \text{ m}^3/\text{s}$. Enfin, nous vérifierons que la puissance dissipée maximale n'est pas supérieure à 150 W/m^3 au droit de chaque chute.

Nous proposons de partir sur la base d'une pente de 4% (cf. max. 6%), avec une largeur de 1,50 m calée sur celle de l'échancrure. Pour le débit $Q = 0.50 \text{ m}^3/\text{s}$, la cote aval s'établit à $z_2(\text{m}) = 119.56 \text{ NGF69}$ au droit des profils 3 à 5 [90 – 110], sachant que la cote amont est de $z_1(\text{m}) = 119.77 \text{ NGF69}$ (à vérifier via modélisation) : nous proposons en conséquence de réaliser une seule rangée transversale sur le linéaire de la rampe. La chute totale de la ligne d'eau étant de l'ordre de 21 cm, nous proposons un espacement entre les rangées de $L = 2,60 \text{ m}$, et une longueur totale de la rampe de l'ordre de $5,20 \text{ m}$. Compte tenu de la faible hauteur de chute, deux configurations ont été testées pour la rangée transversale, l'une avec $p = 0$ et $k = 0,10$, l'autre avec $p = 0,10 \text{ m}$ et $k = 0,20 \text{ m}$ (cf. figure ci-dessous).

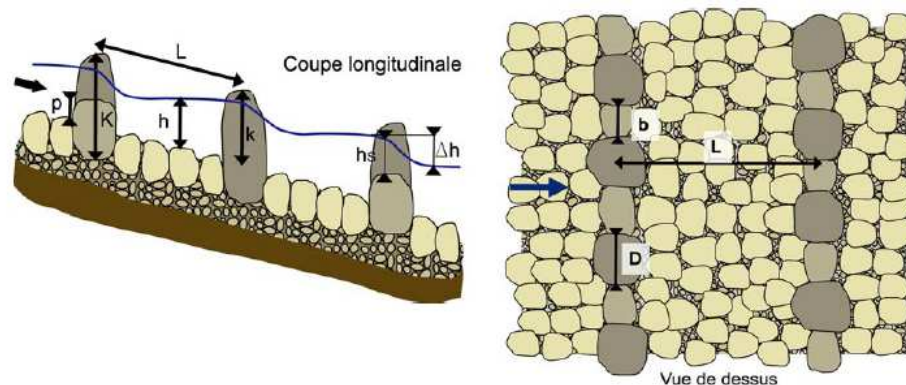


Illustration 9 : variables et notations, enrochements en rangées périodiques, cf. figure n°6 p.17 du Guide technique pour la conception des passes « naturelles », décembre 2006

En prenant une porosité de l'ordre de $\theta = 0,5$, on pourrait partir sur deux blocs $D \approx 0,37 \text{ m}$, ce qui offre 3 largeurs de passage libre $b \approx 0,25 \text{ m}$ pour la largeur totale de la rampe de 1,50 m.

Un mur, dont la cote supérieure devra être calée, permettra de séparer la rampe de l'autre partie du lit mineur, et d'éviter un « transit » des écoulements vers le lit mineur « hors passe ».

La cote amont de la passe a été fixée à 119.52 m NGF69 (cf. tableau 5). La cote aval de la rampe s'établit alors à 119.31 m NGF69 (une chute interviendra en pied : la cote du fond du lit de l'Eure étant de l'ordre de 118.75 à 119 m NGF69 à 2 m de la berge (mur) pour peu que l'on cale la rampe en rive droite).

3.3.2 - Modélisation de la rampe ainsi dimensionnée

Sur la base de ces principes de dimensionnement, nous avons introduit la rampe dans notre modèle :

1,50 m de largeur, pente 4%, longueur 5,20 m avec une rangée intermédiaire en enrochements d' « ouverture » $\Sigma b = 0,75$ m.

Théoriquement, le passage en régime critique étant assuré par la taille et la cote de l'échancrure prédéterminée, la rampe n'a pas d'impact sur la répartition des écoulements : il reste cependant que la rampe (et sa rangée d'enrochements) mise en place peut conduire à une absence de passage en régime torrentiel au niveau de la passe (ce qui est « bien » pour la continuité piscicole !) : on vérifiera alors que le passage en régime critique reste effectif sur le reste du seuil et que le contrôle hydraulique est toujours assuré pour la plage de débits concernés. Il s'agit donc de :

- vérifier que le passage en régime critique est toujours établi pour $Q = 2 \text{ m}^3/\text{s}$;
- déterminer la répartition des débits pour $Q = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ($Q_{\text{th échancrure}} = 0,39 \text{ m}^3/\text{s}$) et $Q = 2 \text{ m}^3/\text{s}$ ($Q_{\text{th échancrure}} = 0,66 \text{ m}^3/\text{s}$).

En vue de modéliser la rampe, deux biefs ont été introduits caractérisant respectivement la passe, et l'autre partie du lit mineur. L'hypothèse est faite de l'absence d'échanges entre les 2 biefs (cf. mur). Une valeur de Strickler de 15 a été retenue au niveau de la passe (cf. enrochements, faible tirant d'eau, et valeurs obtenues pour le calage en situation actuelle).

Nous faisons figurer les résultats obtenus pour les deux situations « extrêmes » : $Q = 0,5$ et $2 \text{ m}^3/\text{s}$.

	Q = 0.5 m ³ /s		Q = 2 m ³ /s	
	p = 0 et k = 0,10 m	p = 0,10 m et k = 0,20 m	p = 0 et k = 0,10 m	p = 0,10 m et k = 0,20 m
Débit dans la passe (m ³ /s)	0.28 m ³ /s	0.21 m ³ /s	0.59 m ³ /s	0.50 m ³ /s
Vmax (m/s) dans la passe	1.22 m/s	1.43 m/s	1.14 m/s	1.09 m/s
Vmax (m/s) sur le radier amont	0.81 m/s	0.60 m/s	1.06 m/s	0.99 m/s
Hauteur de chute maximale dans la passe Δh (m)	0.07 m	0.18 m	0.04 m	0.10 m
z (m) au droit du seuil [120]	119.73 m	119.77 m	119.88 m	119.91 m
H (m) au droit du seuil [120]	119.77 m	119.77 m	119.94 m	119.94 m

Tableau 6 : synthèse des résultats obtenus pour $Q = 0,5$ et $2 \text{ m}^3/\text{s}$ pour les deux rangées d'enrochements simulées ($p = 0$ et $k = 0,10 \text{ m}$ / $p = 0,10$ et $k = 0,20 \text{ m}$, et $\Sigma b = 0,75 \text{ m}$)

Pour ces deux configurations, le passage en régime critique est bien effectif pour $Q = 2 \text{ m}^3/\text{s}$ sur la section hors passe.

Compte tenu du faible gain en termes de hauteur de chute obtenu pour la solution ($p = 0,10 \text{ m} - k = 0,20 \text{ m}$), et aussi d'une chute maximale fixée à $[0,10 - 0,15]$ m pour les petites espèces dans le cadre d'une telle solution technique², nous proposons de retenir, pour la suite de l'étude, la solution ($p = 0 - k = 0,10 \text{ m}$), dont on trouvera les résultats détaillés, ainsi que les profils en long correspondant en annexe n°2.

Enfin, en vue d'éviter tout passage entre les deux biefs et garantir un débit minimal dans la passe, on pourra retenir comme cote supérieure du mur la valeur de 119,95 m NGF69 (elle pourra suivre le long de la passe comme cotes minimales les valeurs de charges H(m) indiquées des profils [120] à [104] en annexe n°2).

² Guide technique pour la conception des passes naturelles, décembre 2006, tab. 4 p.19

3.3.3 - Vérification de la franchissabilité pour les petites espèces

Les résultats précédents font apparaître (pour la solution $p = 0 - k = 0.10 \text{ m}$) :

- une hauteur de chute de la ligne d'eau inférieure à 10 cm dans la passe au droit de la rangée d'enrochements (cf. valeur obtenue pour un débit de l'Eure de $Q = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$) ;
- une hauteur d'eau dans la passe au minimum de 0,21 m pour $Q = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$;
- une vitesse maximale de 1,22 m/s observée (pour $Q = 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$). Elle est observée dans la passe au droit de la rangée d'enrochements ;
- une puissance dissipée maximale dans la rampe (formule 2.6 en p. 59 du Guide technique de conception des passes naturelles, décembre 2006) de $P_v \approx 140 \text{ W/m}^3$ (pour $Q_{\text{Eure}} = 2 \text{ m}^3/\text{s}$)³, soit inférieure à 150 W/m^3 , et minimale de l'ordre de 105 W/m^3 , pour $Q_{\text{Eure}} = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Pour mémoire, pour $Q = 4,5 \text{ m}^3/\text{s}$ (débit maximum modélisé), la vitesse maximale s'établit à 1.16 m/s sur le radier (en amont immédiat du seuil). Nous faisons figurer ci-dessous les profils en long des vitesses obtenus pour $Q = 0.5, 2$ et $4.5 \text{ m}^3/\text{s}$, pour la solution n°2 (avec $p = 0 - k = 0.10 \text{ m}$).

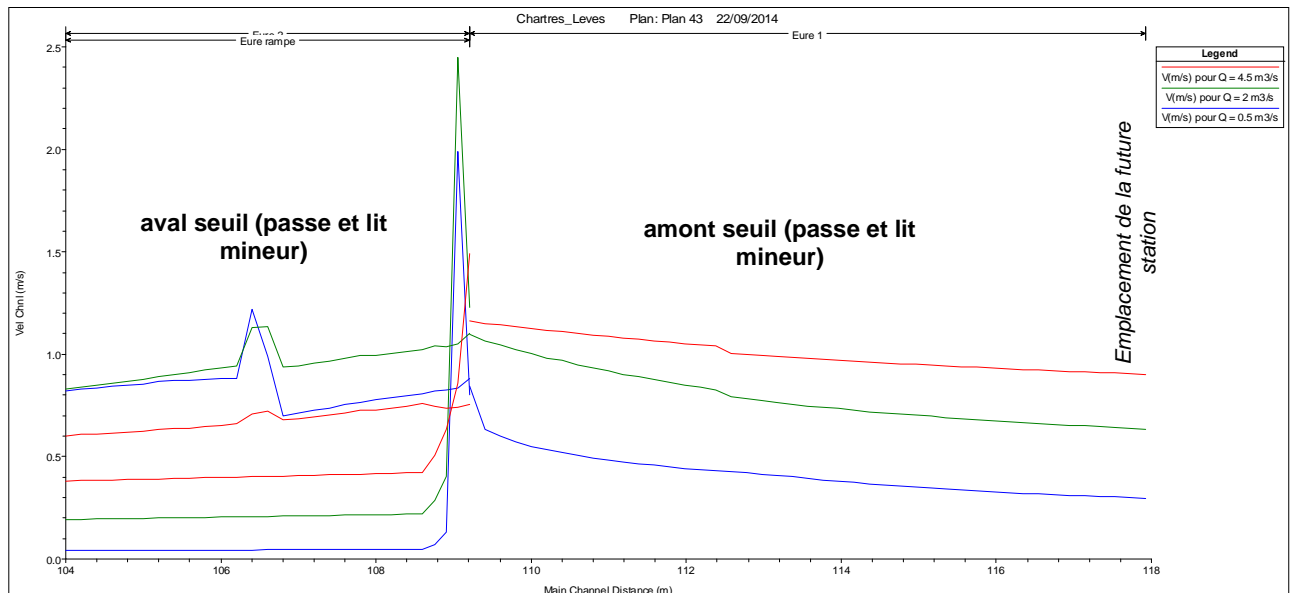


Illustration 10 : profil en long des vitesses pour la solution n°2 pour $Q = 0.5, 2$ et $4.5 \text{ m}^3/\text{s}$ sur la passe, en amont et en aval du seuil

3.3.4 - Courbe de tarage théorique obtenue et vérification de l'existence effective « d'un contrôle hydraulique » sur la plage de débits souhaitée

La courbe de tarage théorique obtenue au droit de la future station (profil n°1 [130]) figure ci-dessous. Bien qu'aucune « cassure » n'apparaisse, l'examen des résultats obtenus montre une absence de passage en régime critique sur la section « hors passe » dès $Q = 2,30 \text{ m}^3/\text{s}$ pour la solution n°2. L'ensemble des valeurs constituant cette courbe sont jointes en annexe n°1.

³ $B = 4 \text{ m}$, $Q = 0.59 \text{ m}^3/\text{s}$ (dans la passe), $h = 0.42 \text{ m}$, $l = 4\%$

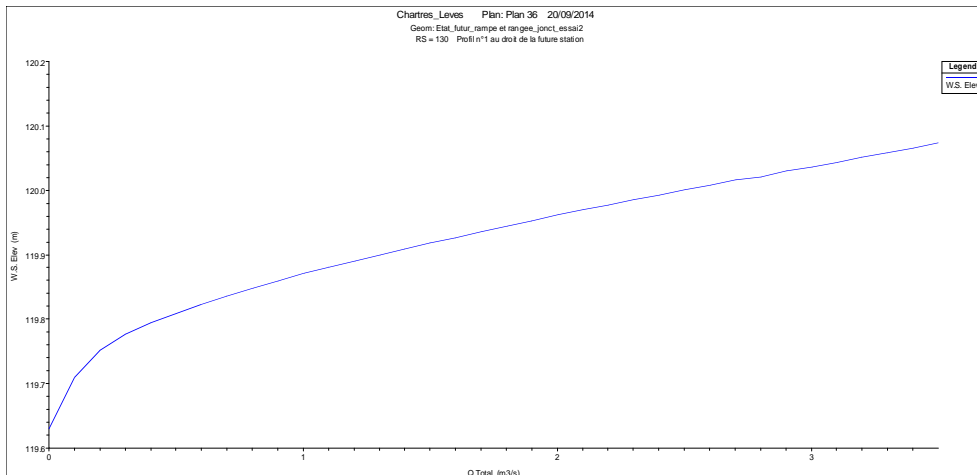


Illustration 11 : courbe de tarage théorique au droit de la future station hydrométrique, pour la solution n°2 ($k = 0 - p = 0,10 \text{ m}$)

Enfin, nous avons voulu vérifier que le développement de la végétation en aval du seuil (diminution d'un facteur 1.5 des coefficients de Strickler) était sans impact au droit de la future station : le graphique ci-dessous met en évidence un impact au pire de + 1 cm, sur la plage $[1,80 - 2] \text{ m}^3/\text{s}$, nul sinon ($Q < 1,80 \text{ m}^3/\text{s}$).

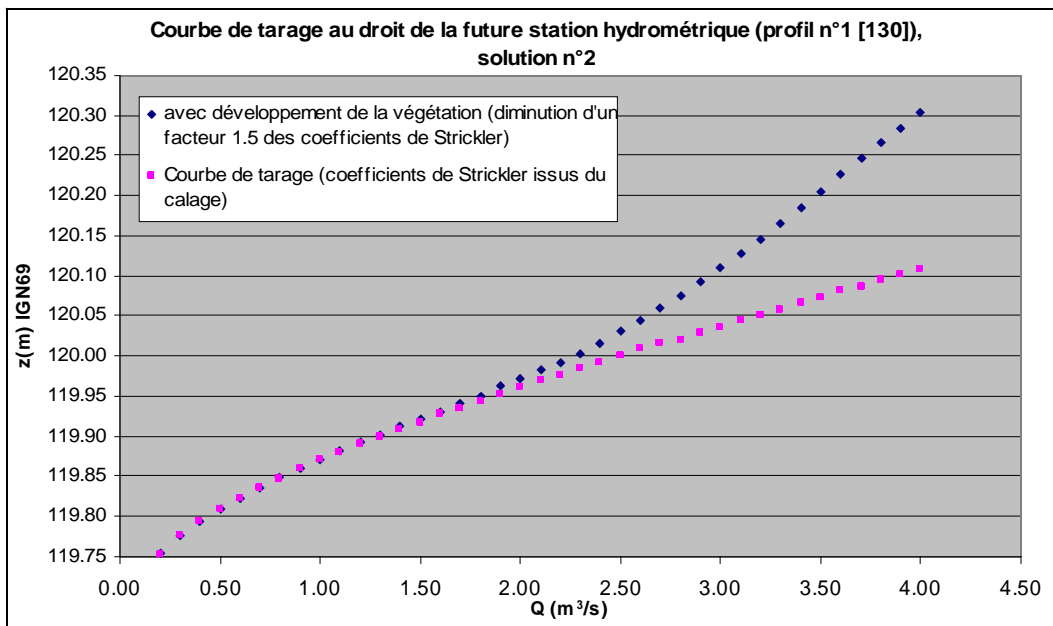


Illustration 12 : courbes de tarage au droit de la future station hydrométrique, pour la solution n°2, situation correspondant au calage (20/08/2014) et diminution d'un facteur 1.5 des Strickler pour rendre compte du développement de la végétation

4 - Conclusion

La présente étude a permis de caractériser la situation actuelle ; elle a ainsi abouti à :

- construire une courbe de tarage théorique au droit de la future station ;
- mettre en évidence une chute de la ligne d'eau modérée (au pire de $\Delta z \approx 0,22$ m pour un débit de l'Eure de $Q = 0,5$ m³/s), mais des vitesses maximales observées en aval immédiat du seuil qui limiteraient la franchissabilité des petites espèces ($V > 1,50$ m/s) ;
- montrer que le passage par le régime critique était effectif et le seuil existant dénoyé jusqu'à un débit de l'Eure de l'ordre de $Q = 4$ m³/s. Pour la plage de débit $[0,8 - 2]$ m³/s à laquelle s'intéresse l'agglomération de Chartres-Métropole, le développement de la végétation sur le tronçon à l'aval du seuil est sans impact sur la courbe de tarage.

Elle a montré que la solution n°1 (= « variante 2 » : échancrure rectangulaire de 7 m de largeur, calée à 119.49 m NGF69) proposée n'offrait plus un contrôle hydraulique satisfaisant, le seuil apparaissant alors noyé dès une valeur du débit de l'Eure $Q = 1,3$ m³/s.

Elle s'est enfin attachée à définir une solution alternative (solution n°2) en définissant la taille « maximale » de l'échancrure pouvant être réalisée dans le seuil en vue d'assurer ce « contrôle hydraulique » jusqu'à $Q = 2$ m³/s, puis en proposant, dans la continuité de cette échancrure, une solution de type rampe en enrochements avec comme objectif d'assurer la continuité piscicole des « petites espèces ». Une proposition de dimensionnement a été réalisée en partant sur une passe en enrochements avec « rangée périodique », de largeur $L = 1,50$ m, et de pente 4% ; la courbe de tarage « théorique » correspondante, au droit du site de la future station, a été établie.

Il appartiendra au bureau d'études chargé de la maîtrise d'œuvre du projet de reprendre et d'amender ces premières pistes si nécessaire.

Établi à Rouen le 23 septembre 2014

Pour le SRE/BHPC,

Stéphane HELOUIN et Stéphane PINEY

ANNEXE N°1

Valeurs de la courbe de tarage théorique au droit de la future station pour la situation actuelle et pour la solution n°2 (p = 0 - k = 0.10 m)

Q (m ³ /s)	z(m) NGF69 au droit du profil n°1 [130] <u>situation actuelle</u>
0.20	119.78
0.30	119.80
0.40	119.82
0.50	119.83
0.60	119.85
0.70	119.86
0.80	119.87
0.90	119.88
1.00	119.89
1.10	119.90
1.20	119.91
1.30	119.92
1.40	119.93
1.50	119.94
1.60	119.95
1.70	119.96
1.80	119.96
1.90	119.97
2.00	119.98
2.10	119.99
2.20	120.00
2.30	120.00
2.40	120.01
2.50	120.02
2.60	120.02
2.70	120.03
2.80	120.04
2.90	120.04
3.00	120.05
3.10	120.05
3.20	120.06
3.30	120.07
3.40	120.07
3.50	120.08
3.60	120.08
3.70	120.09
3.80	120.09
3.90	120.10
4.00	120.10

Q (m ³ /s)	z(m) NGF69 au droit du profil n°1 [130] <u>solution n°2 (p = 0 - k = 0.10 m)</u>
0.20	119.75
0.30	119.78
0.40	119.79
0.50	119.81
0.60	119.82
0.70	119.84
0.80	119.85
0.90	119.86
1.00	119.87
1.10	119.88
1.20	119.89
1.30	119.90
1.40	119.91
1.50	119.92
1.60	119.93
1.70	119.94
1.80	119.94
1.90	119.95
2.00	119.96
2.10	119.97
2.20	119.98
2.30	119.99
2.40	119.99
2.50	120.00
2.60	120.01
2.70	120.02
2.80	120.02
2.90	120.03
3.00	120.04
3.10	120.04
3.20	120.05
3.30	120.06
3.40	120.07
3.50	120.07
3.60	120.08
3.70	120.09
3.80	120.10
3.90	120.10
4.00	120.11

Bief	Profil HEC-RAS	Q (m ³ /s)	z (m) NGF69	Z _{critique} (m) NGF69	H(m) NGF69	V (m/s)	Froude
amont	130	2	119.96	119.8	119.98	0.63	0.35
amont	120.222	2	119.88		119.94	1.06	0.75
panse	120	0.59	119.88	119.78	119.94	1.1	0.6
panse	110	0.59	119.87	119.75	119.92	1.02	0.54
panse	108.826	0.59	119.83	119.67	119.87	0.94	0.47
panse	108.695 (1)	0.59	119.8	119.72	119.87	1.14	0.63
panse	108.565 (1)	0.59	119.79	119.71	119.86	1.13	0.62
panse	108.434	0.59	119.8	119.65	119.85	0.94	0.48
panse	104	0.59	119.77	119.56	119.8	0.83	0.39
hors passe	120	1.41	119.86	119.86	119.94	1.23	1.01
hors passe	110	1.41	119.79	119.1	119.8	0.22	0.08
hors passe	104	1.41	119.79	119.01	119.79	0.19	0.06
aval	103	2	119.79		119.79	0.24	0.08
aval	101	2	119.79		119.79	0.2	0.06

Tableau 8 : cotes des lignes d'eau et de charge en amont du seuil, sur la rampe et « hors passe » du lit mineur pour Q = 2 m³/s – les profils (1) correspondent à la « rangée » d'envrochements simulée (p = 0 et k = 0,10 m, et $\Sigma b = 0,75$ m)

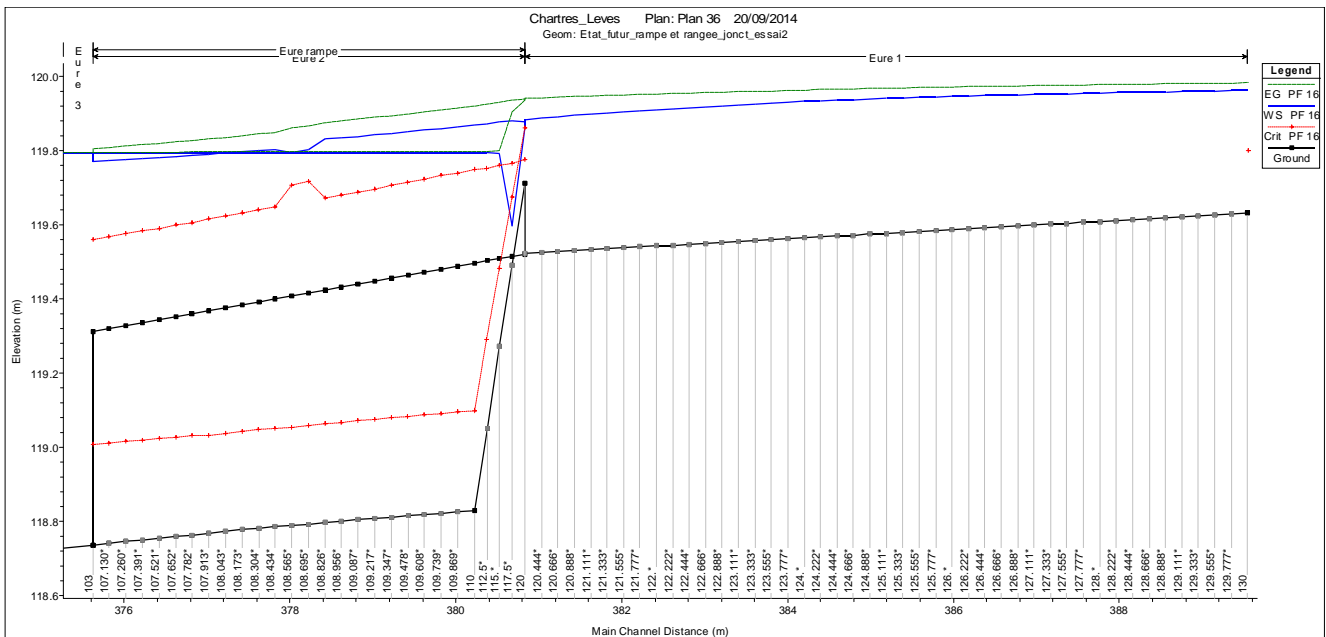


Illustration 14 : profils en long des lignes d'eau (en bleu) et de charge (en vert) en amont du seuil, sur la rampe et « hors passe » du lit mineur pour Q = 2 m³/s (p = 0 et k = 0,10)



**Direction régionale de l'Environnement
de l'Aménagement et du Logement
HAUTE-NORMANDIE**

Cité administrative Saint-Sever
76032 Rouen cedex
Tél : 33 (02) 35 58 53 27
Fax : 33 (02) 35 58 53 03

