Passion & Solutions

Barrage de Beaulieu

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE

NOTE D'HYPOTHESES HYDRAULIQUE

EAU & ENVIRONNEMENT PARIS
PATIO SEINE - Bât. B – 2è étage
CS 20349 - 47, avenue de Lugo
94607 Choisy-le-Roi Cedex
Tél. : +33 (0)1 77 93 78 99
Mail : ee.94@arteliagroup.com

Direction interrégionale du bassin de la Seine

DATE : NOVEMBRE 2016 **REF :** LVN / 4660135

SOMMAIRE

1. OBJET DE LA NOTE - 1 -
2. DONNEES DE BASE UTILISEES - 1 -
3. PREMIERE ANALYSE DES MESURES DE NIVEAUX D'EAU - 5 -
4. CALAGE DU MODELE HYDRAULIQUE TELEMAC-2D - 8 -
5. CONCLUSION - 12 -

TABLEAUX

TABL. 1 - DONNEES BATHYMETRIQUES UTILISEES POUR LE MODELE - 1 -
TABL. 2 - DONNEES TOPOGRAPHIQUES UTILISEES POUR LE MODELE - 2 -
TABL. 3 - DONNEES DE NIVEAUX D'EAU UTILISEES POUR LE CALAGE DU MODELE - 3 -
TABL. 4 - RESULTATS DE NIVEAUX D'EAU DU MODELE SOGREAH POUR LES DEUX DEBITS DE 100 ET 160 M^3/S (SOURCE : ETUDE "AMENAGEMENT DES VALLEES DE L'AUBE ET DE LA SEINE" - SOGREAH -1983) - 5 -
TABL. 5 - DONNEES DE NIVEAUX D'EAU ET DEBITS CORRESPONDANTS A PONT SUR SEINE - 8 -
TABL. 6 - VALEURS USUELLES DU COEFFICIENT DE RUGOSITE - 9 -

FIGURES

FIG. 1. LOCALISATION DES DONNEES BATHYMETRIQUES DU MODELE HYDRAULIQUE - 2 -
FIG. 2. PROFIL EN LONG DES MESURES DE NIVEAUX D'EAU A DIFFERENTS DEBITS A LA STATION DE PONT SUR SEINE - 6 -
FIG. 3. LOI H-Q AU PIED AVAL DU BARRAGE CONSTRUITE A PARTIR DES MESURES EFFECTUEES AVEC LA SONDE - 7 -
FIG. 4. LOI Z-Q AU PIED AVAL DU BARRAGE CONSTRUITE A PARTIR DES MESURES DE NIVEAUX D'EAU DISPONIBLES - 7 -
FIG. 5. LIGNES D'EAU CALCULEES A DIFFERENTS DEBITS - 11 -
FIG. 6. LOI Z-Q CALCULEE AU PIED AVAL DU BARRAGE - 11 -

1. OBJET DE LA NOTE

La présente note a pour objet de retracer les calculs qui ont été effectués dans le cadre de l'élaboration de la loi hauteur (Z) /débit (Q) au pied aval du barrage de Beaulieu. La loi hauteur/débit au pied aval du barrage est une donnée essentielle pour la conception et le dimensionnement de la passe à poissons, mais aussi pour la conception du nouveau barrage lui-même.

2. DONNEES DE BASE UTILISEES

Le référencement altimétrique retenu est le système du Nivellement Général de la France IGN 69 (NGF IGN69).

- Données bathymétriques (lit mineur) : des levés bathymétriques ont été fournis par VNF sous forme de profils en travers et de semis de points bathymétriques.
- Les profils en travers et les semis de points ont été utilisés pour représenter le lit mineur sur l'ensemble du linéaire d'étude avec une densification des profils à l'aval du barrage et à l'amont proche du barrage (cf. Fig. 1).
- **Ces données possèdent plus de points que les anciennes données bathymétriques fournies par VNF. Par contre, elles ne sont pas complètes au niveau des berges, surtout à l'aval du barrage. La bathymétrie du lit mineur ne débute pas du haut de la rive gauche au haut de la rive droite. Par conséquent, une interpolation a été faite au niveau des berges entre les données topographiques et les données bathymétriques. Il est à noter que cette reconstitution entraîne une incertitude sur les sections d'écoulement.**

Source/type de fichiers	Date du relevé	Auteur	Dénomination	Observations
10098-Nogent Bray-Zone Aval-BAT-01.dwg	Mars 2016	GeoBathy S.A.R.L	Semis de points sur 2/3 secteur aval du barrage Aval du barrage	Ces semis de points ne sont pas complets au niveau des berges.
10098-Nogent Bray-Zone aval-MF-PRO-01.dwg	Août 2016	GeoBathy S.A.R.L	Profils en travers no PT1 à PT51 sur 2.5 km de linéaire du barrage Aval du barrage	Ces profils en travers ne sont pas complets au niveau des berges.
plan_topo_bathy MNT.dwg	Juillet 2008	Techniques Topo	Semis de points sur 600m de linéaire du barrage Au droit du barrage	Ce semis de points possède moins de points que les profils précédents
RHS_023B_074B15_Bras accès barrage.txt RHS_024B_074B15_Bras accès barrage.txt RHS_025B_074B15_Bras accès barrage.txt	Novembre 2015	SGVE – UDB Bathymétrie	Semis de points au bras d'accès au barrage Amont du barrage	Ces semis de points possèdent plus de points que les profils en aval. Ils sont complets au niveau des berges.
Profils_Beaulieu_002H10.pdf	Mars 2010	SNS – Subdivision Bathymétrique - Signalisation	023-340 à 023-040 021-700 à 020-000 022-700B à 021-500B Amont du barrage	Ces profils en travers possèdent moins de points que les profils précédents. L'inter-distance de ces profils est importante.

Tabl. 1 - Données bathymétriques utilisées pour le modèle

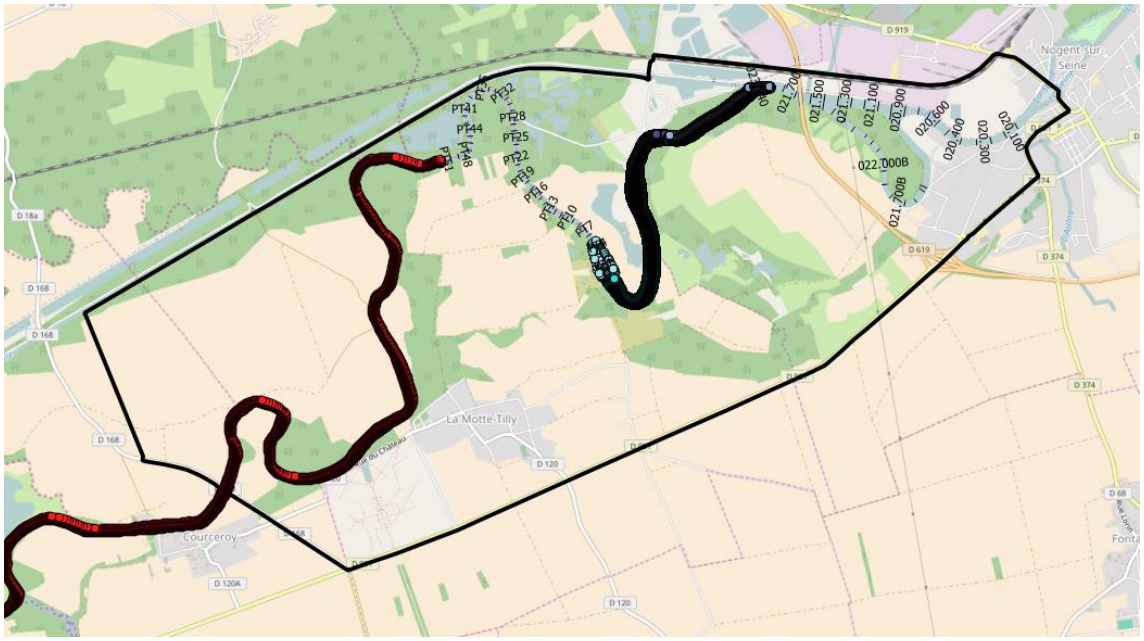


Fig. 1. ***Localisation des données bathymétriques du modèle hydraulique***

- Données topographiques (lit majeur) :

Source/type de fichiers	Date du relevé	Auteur	Description
Nogent_Global-02.dwg	Juillet 2010	Geolys Géomètres – Experts Associés	Plan photogrammétrique – Vallée de la Seine (entre Marnay-sur-Seine et Jaulnes)
Du MNT_727500_6817500.asc au MNT_733500_6820500.asc	2015	Lidar	Grilles de MNT correspondant aux berges

Tabl. 2 - ***Données topographiques utilisées pour le modèle***

- Les mesures de niveaux d'eau :
  Les mesures de niveau d'eau disponibles proviennent de plusieurs sources énumérées ci-dessous :
  - L'atlas des voies navigables de 1903 (6ème Fasc. PI IV) mentionne le "niveau d'étiage" à l'aval du barrage.
  - Les cahiers des éclusiers transmis par VNF renseignent sur les niveaux d'eau à l'amont de l'écluse de Beaulieu et sur la configuration plus ou moins quotidienne du barrage en 2003 et en 2012 (position des hausses). Les niveaux d'eau à l'amont du barrage de Beaulieu sont parfois renseignés dans ces cahiers.
  - Il existe une station de relevé du niveau d'eau de la Seine en crue au pont de Nogent-sur-Seine.
  - L'étude "Aménagement des vallées de l'Aube et de la Seine" - SOGREAH -1983 renseigne sur les niveaux d'eau sur le secteur d'étude atteints pour les débits de 100 m^3/s et de 160 m^3/s.

- L'étude "Etude B, Modélisation hydraulique de la Vallée de la Petite Seine" SAFEGE – 2011 réalisée dans le cadre du projet de mise à grand gabarit de la liaison fluviale entre Bray-sur-Seine et Nogent-sur-Seine renseigne sur les niveaux d'eau pour deux débits de basses eaux, à savoir 29 m^3/s et 44 m^3/s, ainsi que pour des débits de grandes crues (crues de 1955 et 1982).
- Des mesures de niveau d'eau fournis par VNF à l'aval du barrage de Beaulieu. Ces mesures ont été effectuées au moyen d'une sonde enregistreuse sur la période de 12/12/2014 à 21/09/2015.
- Des niveaux d'eaux relevés par VNF à l'aval du barrage de Beaulieu pour des débits de basses eaux.

Les différentes données utilisées pour l'établissement de la courbe $Z_{hauteur\ aval} = f(Q_{débit})$ sont listées ci-dessous :

Date	Heure	N°	X	Y	Z (m NGF)	Localisation
Source : VNF						
03/12/2015	09:25	5000	733613,04	6820363,55	60,62	Amont du barrage
03/12/2015	10:08	5001	734331,1	6821765,09	60,64	Ecluse de Beaulieu
03/12/2015	10:56	5002	736736,5	6821594,29	60,65	(Ancien Moulin de Nogent)
03/12/2015	12:27	5003	732339,58	6821174,78	58,33	(Les "Roches de Perteleine")
03/12/2015	13:38	5004	730739,05	6818792,66	57	(Pont route de la D168)
02/02/2016	12:10				59,17	Aval du barrage
13/04/2016	14:00				60,73	Aval du barrage
18/05/2016	08:45				59,73	Aval du barrage
28/07/2016	10:45				59,71	Aval du barrage
08/08/2016	11:00				59,6	Aval du barrage
10/08/2016	12:00				59,57	Aval du barrage
30/08/2016	10:00				59,34	Aval du barrage
01/09/2016	16:30				59,3	Aval du barrage
05/09/2016	11:00				59,32	Aval du barrage
08/09/2016	11:00				59,32	Aval du barrage

Tabl. 3 - Données de niveaux d'eau utilisées pour le calage du modèle

Date	Heure	N°	X	Y	Z (m NGF)	Localisation
Source : SAFEGE						
18/06/2010		PT15	730746,2	6818787,6	56,99	(Pont route de la D168)
18/06/2010		PT14	731687,8	6818968,4	57,35	
18/06/2010		PT13	732840	6821644,7	58,72	
18/06/2010		PT12	733610,3	6820371,1	58,75	Aval du barrage
18/06/2010		PT11	733613,8	6820364,4	60,6	Amont du barrage
18/06/2010		PT10	733733,8	6821197,2	60,51	
18/06/2010		PT8	736475,9	6821378,3	60,57	
18/06/2010		PT5	736817,3	6821784,9	60,65	Pont de Nogent sur Seine
Source : SAFEGE						
11/08/2010		PT15	730746,2	6818787,6	56,89	(Pont route de la D168)
11/08/2010		PT14	731687,8	6818968,4	57,61	
11/08/2010		PT13	732840	6821644,7	58,92	
11/08/2010		PT12	733610,3	6820371,1	58,91	Aval du barrage
11/08/2010		PT11	733613,8	6820364,4	60,64	Amont du barrage
11/08/2010		PT10	733733,8	6821197,2	60,69	
11/08/2010		PT8	736475,9	6821378,3	60,72	
11/08/2010		PT5	736817,3	6821784,9	60,66	Pont de Nogent sur Seine

Date	Heure	N°	X	Y	Z (m NGF)	Localisation
Source: Cahier des éclusiers						
23/02/2005					60,66	Ecluse de Beaulieu
23/02/2005					60,36	Amont du barrage
24/02/2005					60,63	Ecluse de Beaulieu
24/02/2005					60,36	Amont du barrage
12/02/2004					60,62	Ecluse de Beaulieu
12/02/2004					60,3	Amont du barrage
21/02/2003					60,65	Ecluse de Beaulieu
21/02/2003					60,32	Amont du barrage

Q (m3/s)	Z (m NGF)	PK	Localisation
100	61,4	13,24	Pont de Nogent sur Seine
	60,45	10,21	Ecluse de Beaulieu
	60,34	8,80	
	60,24	7,73	Amont du barrage
	60,2	7,72	Aval du barrage
	59,48	5,20	
	57,5	0,00	Pont route de la D168
160	61,9	13,24	Pont de Nogent sur Seine
	61,28	10,21	Ecluse de Beaulieu
	61,12	8,80	
	60,97	7,73	Amont du barrage
	60,93	7,72	Aval du barrage
	60,24	5,20	
	59,4	0,00	Pont route de la D168

Tabl. 4 - Résultats de niveaux d'eau du modèle Sogreah pour les deux débits de 100 et 160 m^3/s (Source : étude "Aménagement des vallées de l'Aube et de la Seine" - SOGREAH -1983)

3. PREMIERE ANALYSE DES MESURES DE NIVEAUX D'EAU

L'analyse des niveaux d'eau mesurés nécessite la connaissance du débit associé à la ligne d'eau mesurée. Pour ce faire, les valeurs de débit fournies à la station de Pont sur Seine ont été utilisées (http://www.hydro.eaufrance.fr/). Cette station est située en amont de la zone urbaine de Nogent sur Seine et en amont de la centrale nucléaire du même nom. Il n'existe pas d'affluents significatifs entre Pont sur Seine et le barrage de Beaulieu, ce qui permet de prendre l'hypothèse de la conservation de débit entre ces deux points, au moins pour la gamme de débit considérée.

Les débits mesurés en 2016 sont des données brutes non traitées, non validées et qui ont été fournies par la DREAL Alsace-Champagne-Ardenne-Lorraine.
Le débit associé aux mesures de niveaux tirées des études antérieures n'a pas été réévalué.

La figure suivante (Fig. 2) présente les profils en long des mesures de niveaux d'eau à différents débits à la station de Pont sur Seine. Les lignes d'eau mesurées dans le secteur d'étude s'étagent correctement avec l'accroissement de débit.

On constate ainsi :

- une différence de pente marquée entre les biefs amont et aval pour les bas débits : la pente en amont du barrage de Beaulieu est nettement plus faible que la pente aval ;
- pour les débits importants, pour lesquels le barrage est abattu (au-delà de 100 m^3/s), la pente des deux biefs tend à s'homogénéiser à mesure de la réduction de la chute au barrage.

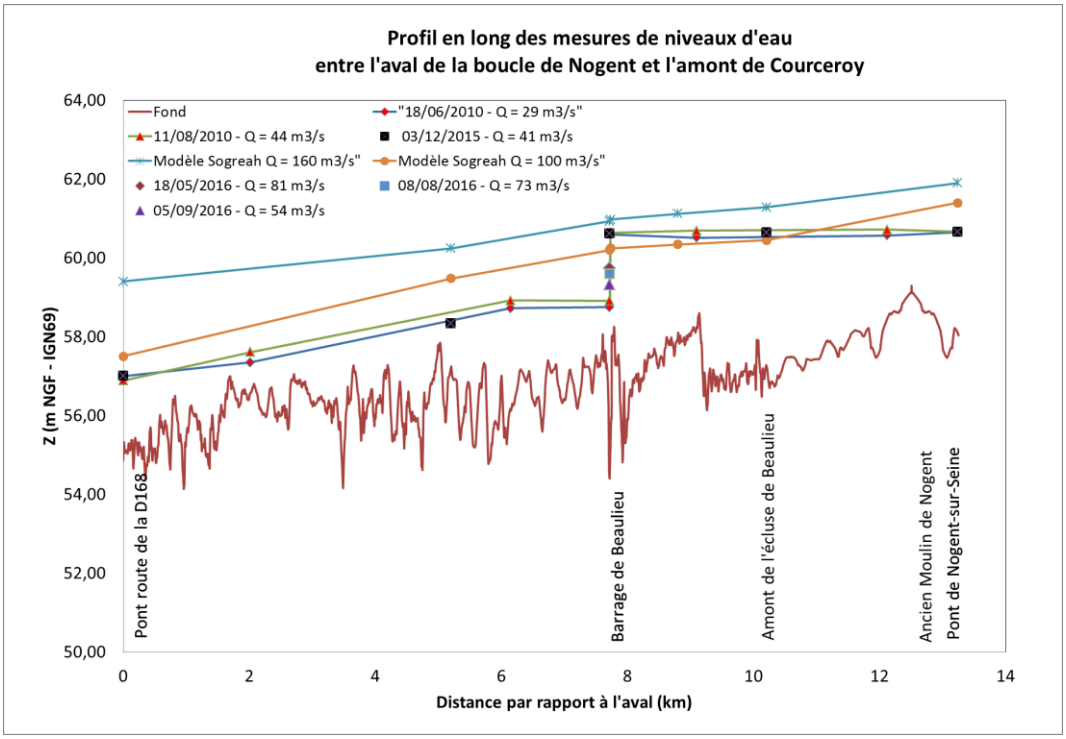


Fig. 2. ***Profil en long des mesures de niveaux d'eau à différents débits à la station de Pont sur Seine***

Les mesures réalisées au pied aval du barrage avec la sonde enregistreuse montrent une très grande dispersion (Fig. 3). Même après le nettoyage des anomalies principales présentes dans ces mesures, à débit constant des écarts de mesure de niveau de l'ordre de 50 cm subsistent. Par ailleurs, ces mesures sont exprimées en hauteur d'eau et non en niveau rattaché au NGF. D'après l'intervenant de VNF, la sonde de mesure des niveaux d'eau aval aurait été posée sur le radier en aval de la pile, soit approximativement à la cote 59 m IGN69. Ce qui veut dire que lorsque le niveau aval passait sous la cote 59 m IGN69, la sonde était hors d'eau. Cela peut expliquer certaines incohérences de mesure.

Les autres mesures de niveau disponibles (mesures tirées des études existantes et mesures ponctuelles) s'établissent assez correctement sous la forme d'une loi Z_{aval}/Q (cf. Fig. 4).
Par contre, les incohérences entre certaines mesures de niveaux d'eau ont été observées sur la Fig. 4. Par exemple, les niveaux d'eau relevés le 18/05/2016 et le 28/07/2016 sont quasi-identiques (59.73 et 59.71 m IGN69, respectivement) mais les débits correspondants à Pont sur Seine pour ces deux jours sont très différents (81 m^3/s et 60 m^3/s, respectivement) (cf. Tabl. 5). Cela met en cause la qualité des mesures de niveau d'eau.

Il peut être noté que la mesure du 18/07/2016 indiquée à 59,71 m IGN69 et 60,2 m3/s semble la moins cohérente avec les autres mesures. **Par conséquent, cette mesure de niveaux d'eau (en gras dans le Tab. 5) a été écartée pour le calage du modèle hydraulique.**

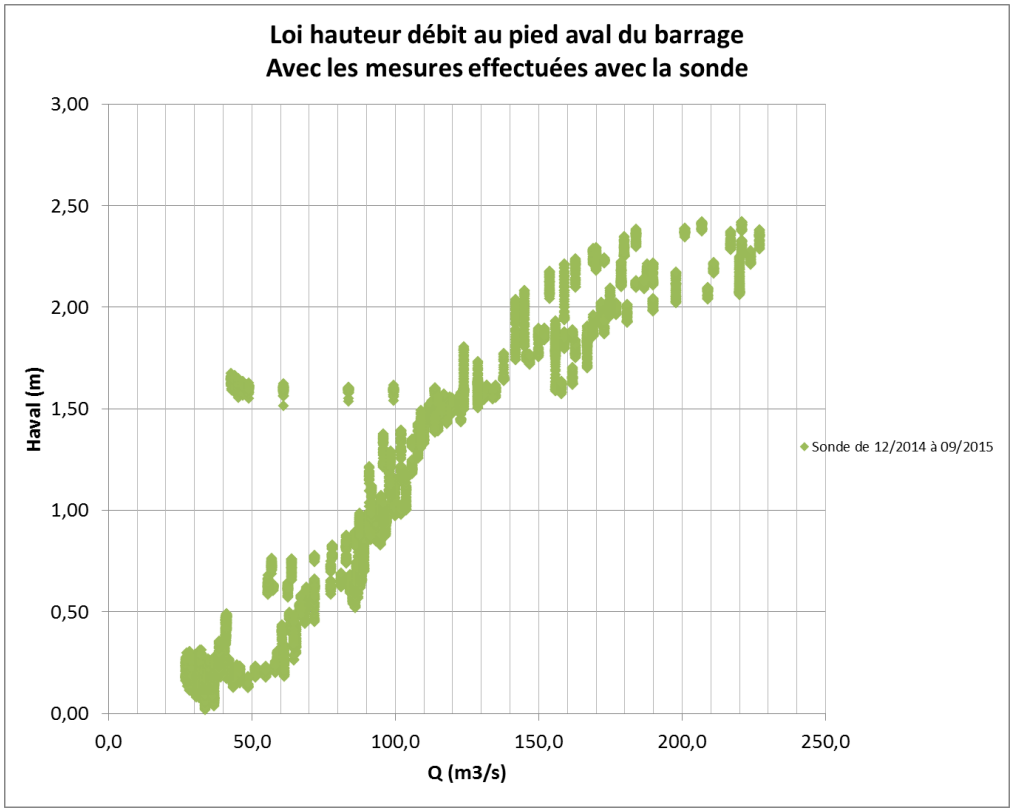


Fig. 3. *Loi H-Q au pied aval du barrage construite à partir des mesures effectuées avec la sonde*

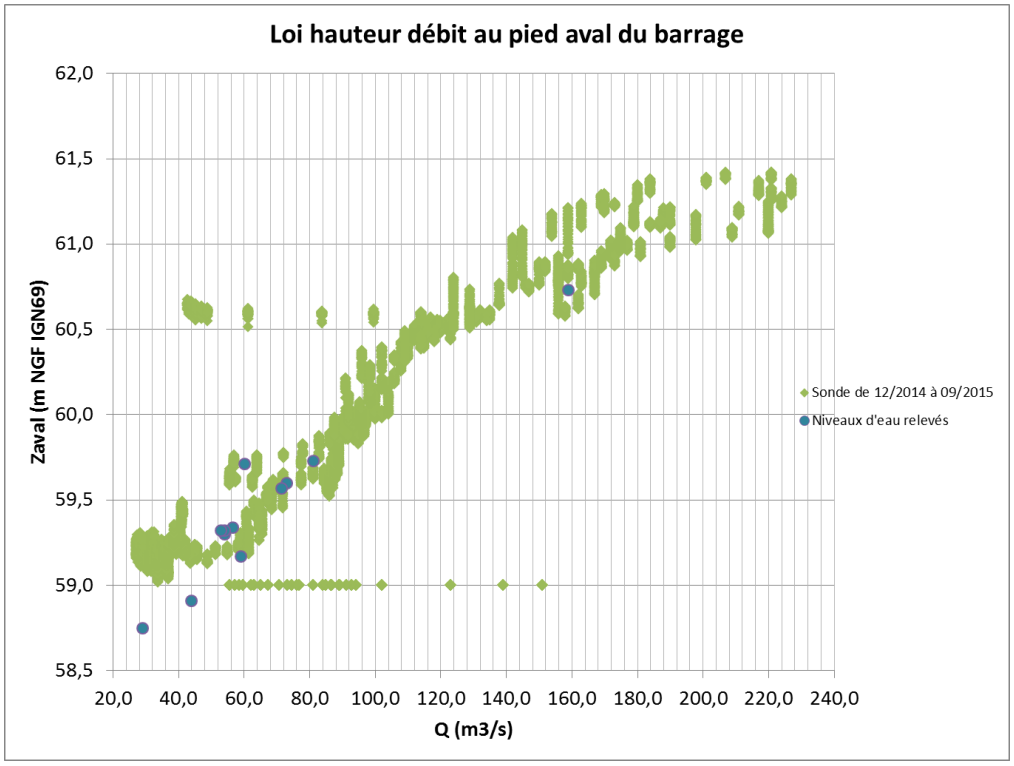


Fig. 4. *Loi Z-Q au pied aval du barrage construite à partir des mesures de niveaux d'eau disponibles*

Remarque :

- Les valeurs utilisées pour l'établissement des deux figures ci-avant sont à considérer comme des valeurs moyennes journalières du fait de l'imprécision liée à l'enregistrement des mesures,
- La figure 4 est issue de l'hypothèse de rattachement altimétrique des valeurs fournies par la sonde d'enregistrement.

Date	18/06/2010	11/08/2010	18/05/2016	28/07/16	08/08/16	01/09/16	02/02/2016
Heure			8h45	10h45	11h00	16h30	12h10
Niveau d'eau aval (m IGN69)	58,75	58,91	59.73	**59.71**	59.60	59,3	59,17
Débit à Pont sur Seine (m^3/s)	29,0	44,0	81,0	**60,2**	73,0	54,0	59,0

*Tabl. 5 - **Données de niveaux d'eau et débits correspondants à Pont sur Seine***

4. CALAGE DU MODELE HYDRAULIQUE TELEMAC-2D

Dans le cadre des études AVP, une modélisation TELEMAC-2D a été mise en œuvre. Le modèle a été construit sur la base des nouvelles données bathymétriques et topographiques obtenues en 2016, principalement les données de profils en travers et les semis de points. Ces données ont permis de représenter le lit mineur sur l'ensemble du linéaire d'étude avec une densification suffisante.
Pour la plupart des profils en travers fournis par VNF, la bathymétrie du lit mineur ne représente pas les hauts de berge rive gauche et rive droite. Par conséquent, ces profils ont été complétés à l'aide des données photogrammétriques et topographiques fournies par VNF.

Le calage du modèle a consisté à faire coïncider la ligne d'eau avec les mesures de niveau : plusieurs simulations ont été réalisées pour les débits correspondants aux lignes d'eau mesurées, soit 29 ; 41 ; 44 ; 54 ; 73 ; 81 et 159 m^3/s ainsi que pour les débits calculés dans le cadre de l'étude de Sogréah (1983) : 100 et 160 m^3/s.
Dans la plage de régulation du barrage, la ligne d'eau du bief amont est tenue principalement par la gestion de la bouchure du barrage. Celle-ci a été ajustée de sorte que la ligne d'eau calculée soit calée sur les points mesurés.

Au-delà de la plage de régulation du barrage, après l'abaissement du barrage, la ligne d'eau du bief amont ne dépend que de la perte de charge résiduelle produite par la structure fixe du barrage et des conditions d'écoulement aval.

Le coefficient de rugosité de Strickler du lit mineur a été porté à 40, ce qui constitue un maximum pour ce type de cours d'eau. Ce choix de valeur du coefficient de Strickler, un peu élevée pour cette section de la Seine, peut s'expliquer par l'incertitude sur les sections d'écoulement provoquée par les profils bathymétriques incomplets.

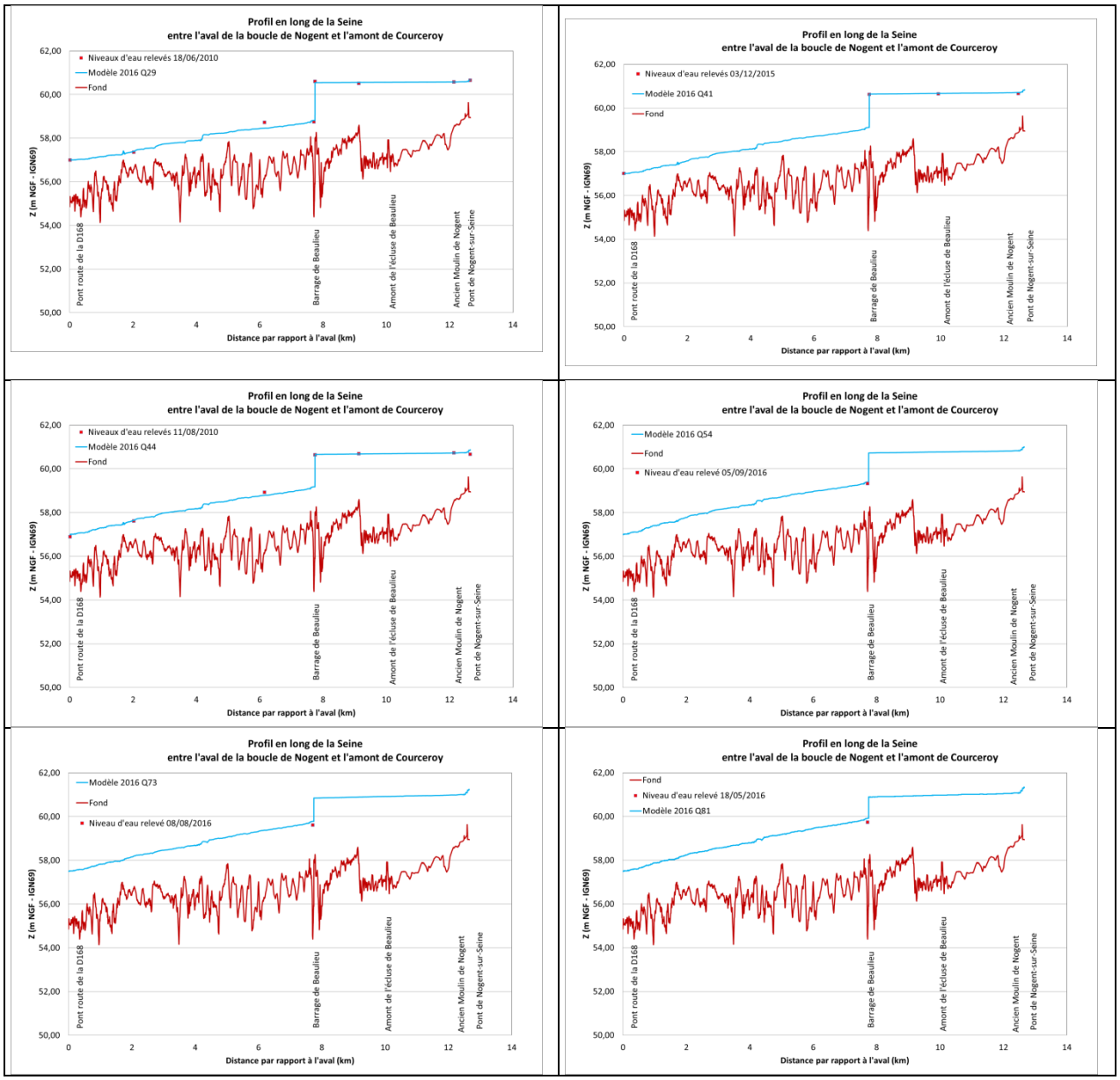
Nous rappelons ci-après les plages de valeurs à considérer pour le coefficient de rugosité en fonction du type de cours d'eau rencontré.

Type de cours d'eau	Valeurs usuelles de K ($m^{1/3}/s$)
Canal bétonné, très lisse	75 à 100
Canal bétonné, état moyen	50 à 75
Canal en terre	30 à 50
Cours d'eau régulier, bien entretenu	40 à 50
Cours d'eau ordinaire	30 à 40
Cours d'eau avec embâcles	20 à 30

Tabl. 6 - Valeurs usuelles du coefficient de rugosité

Les résultats ont été traduits sous forme de profils en long, cf. figures ci-dessous.
Pour les bas débits dans la plage de régulation (Q = 29 à 54 m^3/s), la ligne d'eau obtenue est comparable au regard des niveaux d'eau connus. Au pied aval du barrage, le niveau d'eau calculé présente un écart moyen de 7 cm par rapport aux niveaux d'eau mesurés. Pour les débits plus élevés (Q = 73 à 81 m^3/s), nous ne disposons que du niveau d'eau relevé au pied aval du barrage. L'écart observé entre le niveau d'eau calculé et mesuré est plus important, mais reste acceptable, de l'ordre de 17 cm.

Hors plage de régulation, pour le débit de 100 m^3/s, la ligne d'eau obtenue représente bien les niveaux d'eau mesurés. Pour le débit de débordement (160 m^3/s), la ligne d'eau calculée est plus haute que la ligne d'eau mesurée en moyenne de 12 cm. Au pied aval du barrage, le niveau d'eau calculé est surestimé par rapport au niveau d'eau relevé par VNF. Par contre, un écart est également observé entre le niveau d'eau relevé et les mesures réalisées avec la sonde, ce qui peut mettre en cause la fiabilité de cette donnée.



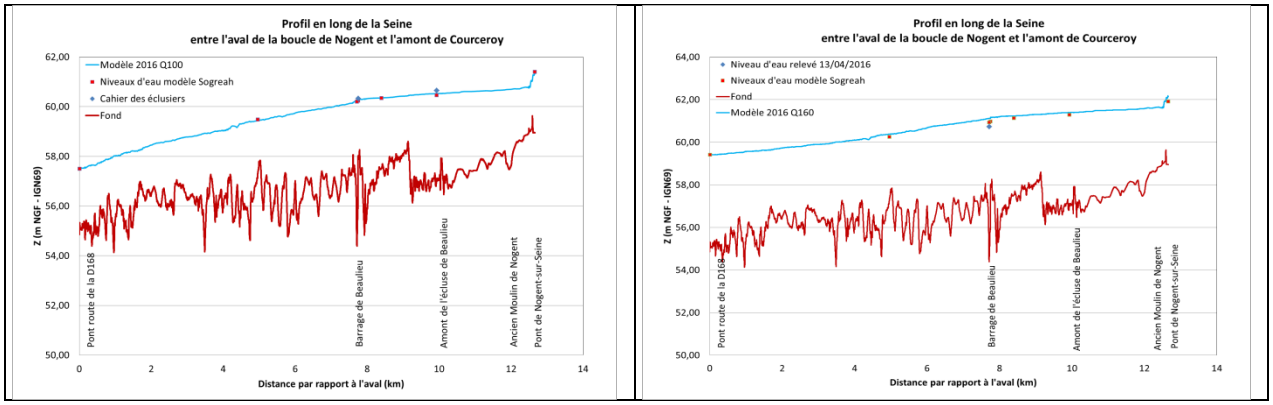


Fig. 5. ***Lignes d'eau calculées à différents débits***

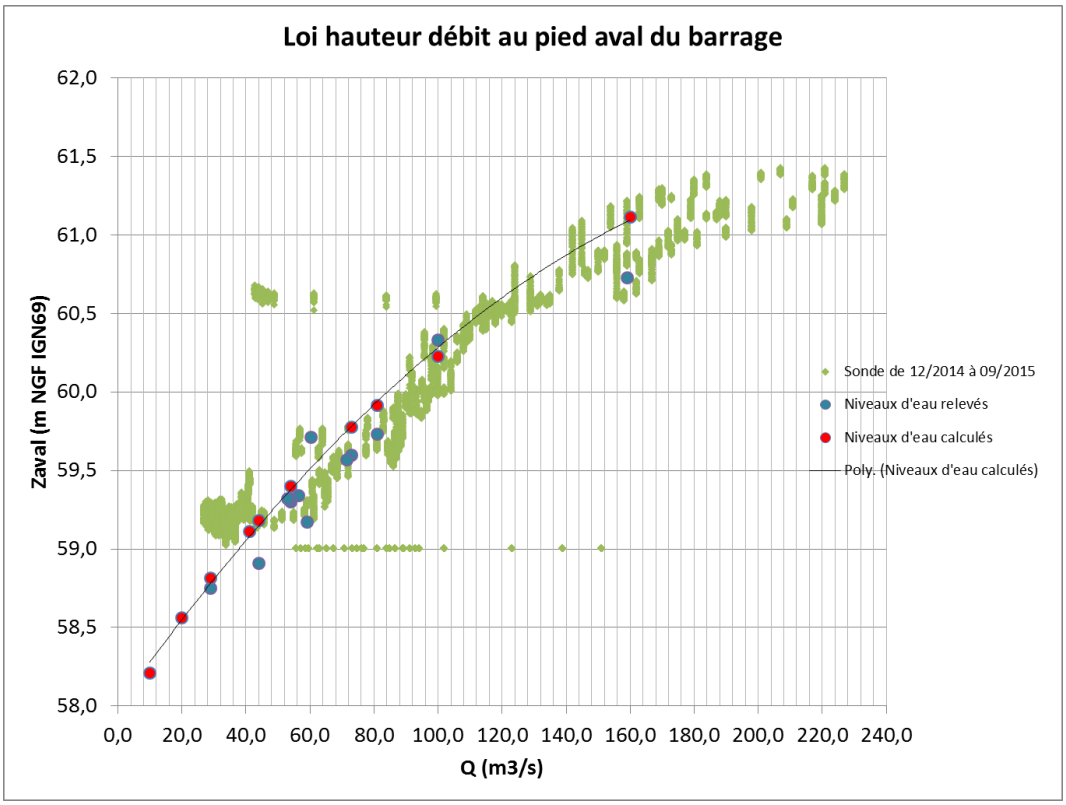


Fig. 6. ***Loi Z-Q calculée au pied aval du barrage***

5. CONCLUSION

→ L'analyse de ces résultats met en évidence la fiabilité des nouvelles données bathymétriques par rapport aux anciennes données. Les nouveaux levés bathymétriques et les relevés de niveau d'eau ponctuels par géomètre en aval du barrage ont permis de mieux caler le modèle hydraulique afin de procéder au dimensionnement des ouvrages (barrage et passe à poissons).

→ Sur la base de la loi Z/Q recalée sur les niveaux d'eau calculés, le niveau aval minimal pour le débit d'étiage de 20,9 m^3/s est estimé à 58,60 m IGN69. L'implantation du nouveau barrage localisée à environ 20 mètres en amont du barrage existant ne modifie pas sensiblement cette cote en raison de la pente de ligne d'eau faible, de l'ordre de 0,2 m/km.

→ …

Il est à préciser que cette valeur de 58.60 m IGN69 repose sur uniquement deux points de calage mesurés pour les débits inférieurs au débit médian. La variation du niveau aval à l'étiage autour de cette valeur n'est pas connue à ce jour. Une méconnaissance demeure donc sur cette variation qui représente 50 % du temps de fonctionnement des ouvrages.

A ce stade deux solutions sont envisageables :

- Réaliser une nouvelle campagne de mesure sur 2017,
- Prendre une marge de sécurité sur cette valeur de 58.60 m IGN69.

Selon notre expert en conception piscicole, cette marge est de l'ordre de 15 cm en dessous de cette valeur. La prise en compte de cette marge conduirait à augmenter le dimensionnement de l'ouvrage de franchissement piscicole (hauteur et longueur de l'ouvrage). La valeur minimale du niveau aval en étiage à considérer serait alors de 58.45 m IGN 69.