



# Reconstruction du barrage de Beaulieu

Mission de maîtrise d'oeuvre

## ETUDES COMPLEMENTAIRES LIEES AUX ASPECTS HYDRAULIQUES SOULEVES LORS DE L'INSTRUCTION DU DOSSIER D'AUTORISATION

VOIES NAVIGABLES DE FRANCE

## Reconstruction du barrage de Beaulieu

Mission de maîtrise d'oeuvre

VNF

Etudes complémentaires liées aux aspects hydrauliques soulevés lors de l'instruction du dossier d'autorisation

VERSION	DESCRIPTION	ÉTABLI(E) PAR	APPROUVÉ(E) PAR	DATE
V1	Première Version	M. Marchal	R. Rohan	29/04/2022
V2	Mise à jour suites à remarques et compléments de VNF du 7/06/2022	P. Exiga	R. Rohan	07/06/2022
V3	Mise à jour suite aux nouvelles remarques de la DRIEAT (08/2022)	M. Marchal	R. Rohan	23/11/2022

ARTELIA  
Département Eau et Génie Urbain  
47 avenue de Lugo – CS20349 · 94600 CHOISY LE ROI  
TEL : +33 (0)1 77 93 78 99

### ARTELIA

Siège social :16 rue Simone Veil – 93400 Saint-Ouen-sur-Seine – France  
SAS au Capital de 13.262.150 Euros - 444 523 526 RCS Bobigny - SIRET 444 523 526 00804 - APE 7112B  
N° Identification TVA : FR 40 444 523 526 - www.arteliagroup.com

Etudes complémentaires liées aux aspects hydrauliques soulevés lors de l'instruction du dossier d'autorisation  
RECONSTRUCTION DU BARRAGE DE BEAULIEU

# SOMMAIRE

<b>1. OBJET DU DOCUMENT</b> .....	<b>5</b>
<b>2. RAPPEL DES RÉSULTATS ÉTABLIS DANS LE CADRE DES MISSIONS AVP ET PRO</b> .....	<b>6</b>
<b>3. VERIFICATION DU CALAGE DU MODÈLE HYDRAULIQUE</b> .....	<b>7</b>
<b>3.1. Vérification à partir des données VNF</b> .....	<b>7</b>
3.1.1. Crue de juillet 2021 (135 m <sup>3</sup> /s) .....	8
3.1.2. Crue de mars 2020 (277 m <sup>3</sup> /s).....	9
3.1.3. Conclusion .....	9
<b>3.2. Vérification à partir des données issues de l'étude Bray-Nogent</b> .....	<b>10</b>
<b>4. COMPLÉMENT D'ÉTUDE SUR LA CONDITION AVAL</b> .....	<b>12</b>
4.1. Analyse de sensibilité de la loi Z/Q aval.....	12
4.2. Vérification de la cohérence de la loi Z/Q aval avec les données de la crue de 2018 .....	12
4.2.1. Données de niveaux d'eau.....	12
4.2.2. Données piézométriques .....	12
<b>5. VÉRIFICATION DU DIMENSIONNEMENT DU BARRAGE</b> .....	<b>14</b>
5.1. Incidences du projet pour la crue centennale (PPRI 2020) .....	14
5.2. Incidences pour des crues intermediaires .....	15
5.2.1. Crue de janvier 2018.....	15
5.2.2. Crue intermédiaire de débit Q=300 m <sup>3</sup> /s .....	15
5.3. Incidences sur l'île à l'aval du barrage de beaulieu .....	16
<b>6. ETUDE DE LA PHASE TRAVAUX</b> .....	<b>17</b>
6.1. Rappel des résultats établis au stade PRO .....	17
6.2. Evaluation de l'incidence du batardeau de chantier à Pont-sur-Seine .....	17
6.2.1. Principes généraux .....	17
6.2.2. Exploitation des résultats .....	19
6.2.3. Exploitation des résultats avec hypothèse pessimiste .....	20
6.2.4. Evaluation des incidences en période de fortes crues.....	22

<b>6.3. Evaluation de l'incidence des pieux en phase travaux .....</b>	<b>24</b>
6.3.1. Introduction .....	24
6.3.2. Incidence hydraulique des pieux.....	25
<b>6.4. Definition de la periode de chantier : Recalcul des courbes de debits classés .....</b>	<b>25</b>
<b>6.5. Ajustement des conditions de débatardage en phase chantier</b>	<b>27</b>
<b>6.6. Conversion des seuils de veille et de débatardage à Pont-sur-Seine .....</b>	<b>31</b>
6.6.1. Répartition des débits entre Pont-sur-Seine et Beaulieu .....	31
6.6.2. Conversion des seuils de débatardage à l'échelle de Pont-sur-Seine.....	31

## TABLEAUX

Tableau 1- Vérification du calage du modèle crue du 28/07/2021 $Q=135 \text{ m}^3/\text{s}$ .....	9
Tableau 2- Vérification du calage du modèle, crue du 18/03/2020 $Q=277 \text{ m}^3/\text{s}$ .....	9
Tableau 3- Rappel des valeurs de niveaux d'eau et d'incidence pour la crue $Q=720 \text{ m}^3/\text{s}$ .....	14
Tableau 4- Niveaux d'eau et incidence pour la crue $Q=780 \text{ m}^3/\text{s}$ .....	14
Tableau 5- Niveaux d'eau et incidence pour la crue de janvier 2018 ( $Q=433 \text{ m}^3/\text{s}$ ) .....	15
Tableau 6- Niveaux d'eau et incidence pour une crue intermédiaire ( $Q=300 \text{ m}^3/\text{s}$ ).....	15
Tableau 7- Réhaussement de la ligne d'eau pour la phase travaux 2- Débit d'abatage $Q=120 \text{ m}^3/\text{s}$ .....	17
Tableau 8 : Procédure de débatardage en fonction de la cote à l'amont du barrage de Beaulieu .....	29
Tableau 9: Procédure de débatardage à la station de Pont-sur-Seine par interpolation.....	32

## FIGURES

Figure 1 : Chronique de débit enregistrée à Pont-sur-Seine 2020-2022 .....	7
Figure 2: Localisation des points de comparaison des niveaux d'eau.....	8
Figure 3: Lignes d'eau calculées pour les crues issues des données VNF .....	8
Figure 4: Hydrogramme enregistré à Pont-sur-Seine pour la crue de janvier 2018 .....	10
Figure 5: Données issues de l'étude Bray-Nogent ( $Q=433 \text{ m}^3/\text{s}$ ) et données fournies par VNF... ..	11
Figure 6: Résultats calculés pour la crue 2018 .....	11
Figure 7: Localisation du piézomètre par rapport à la limite aval de notre modèle .....	13
Figure 8: Niveaux piézométriques enregistrés à Villers-sur-Seine, en aval du Pont de Courceroy .....	13
Figure 9: Photographie aérienne de l'île aval.....	16
Figure 10: Localisation de la station de Pont-sur-Seine par rapport à l'emprise du modèle TELEMAC .....	18
Figure 11: Lignes d'eau calculées dans l'état initial (en rouge) et en phase travaux (en jaune) pour $Q=120 \text{ m}^3/\text{s}$ .....	19
Figure 12 : Lignes d'eau calculées dans l'état initial (en rouge) et en phase travaux (en jaune) pour $Q=160 \text{ m}^3/\text{s}$ .....	19
Figure 13 : Vue de l'écoulement au droit du barrage du Livon .....	20
Figure 13 : Prolongement des lignes d'eau dans l'état actuel et en phase travaux pour $Q=120 \text{ m}^3/\text{s}$ .....	21

Figure 14: Prolongement des lignes d'eau dans l'état actuel et en phase travaux pour Q=160 m <sup>3</sup> /s .....	21
Figure 15: Prolongement des lignes d'eau dans l'état actuel et en phase travaux pour Q=350 m <sup>3</sup> /s .....	22
Figure 16: Prolongement des lignes d'eau dans l'état actuel et en phase travaux pour Q=400 m <sup>3</sup> /s .....	23
Figure 17: Prolongement des lignes d'eau dans l'état actuel et en phase travaux pour Q=450 m <sup>3</sup> /s .....	23
Figure 18: Prolongement des lignes d'eau dans l'état actuel et en phase travaux pour Q=500 m <sup>3</sup> /s .....	24
Figure 19: Passerelle d'accès et glissière pour l'exploitation du barrage existant supportés par 9 pieux en lit mineur pendant la phase travaux (phase 2-3) .....	25
Figure 20: Fréquence de dépassement du débit Q=120 m <sup>3</sup> /s selon les mois de l'année.....	26
Figure 21: Hydrogramme de la crue de mai 1985 à Pont-sur-Seine (Hydroportail) .....	28
Figure 22 :Fréquence de dépassement des débits en pourcentage et en jour par mois .....	30
Figure 23: Relation entre les débits transitant par le barrage de Beaulieu et la station de Pont-sur-Seine .....	31

# 1. OBJET DU DOCUMENT

Dans le cadre de l'instruction du dossier d'autorisation présenté par VNF pour le projet de reconstruction du barrage de Beaulieu, la DRIEAT a transmis un ensemble de remarques (cf. courrier du 7 janvier 2022).

Plusieurs réunions avec VNF, la DRIEAT et ARTELIA ont permis de préciser ces remarques et de discuter des différentes approches envisageables pour y répondre. Le présent document a pour objet de présenter les prestations hydrauliques complémentaires réalisées pour répondre aux remarques de la DRIEAT.

Les prestations réalisées comportent notamment :

- une vérification du calage du modèle hydraulique : exploitation des données de niveaux aux barrages de 2019 à 2022, vérification du calage pour la crue de janvier 2018 ;
- des calculs complémentaires en phase d'exploitation : calculs du rehaussement de la ligne d'eau pour une crue centennale basée sur l'estimation du PPRi de janvier 2020 ( $Q=780 \text{ m}^3/\text{s}$ ) et pour 2 crues intermédiaires, justification du dimensionnement hydraulique du barrage et des dispositions constructives, évaluation des incidences sur l'île à l'aval du barrage de Beaulieu ;
- la vérification des conditions hydrauliques en phase travaux : établissement d'un outil d'évaluation des incidences en phase travaux à Pont-sur-Seine, actualisation des courbes de débits classés et vérification des conditions de débatardage ;
- la transmission de l'analyse de sensibilité de la loi Z/Q aval effectuée en 2013 et la vérification de la cohérence de la loi Z/Q aval avec les données de la crue 2018 ;
- une analyse de l'incidence hydraulique des pieux supportant la passerelle en phase travaux.

## 2. RAPPEL DES RESULTATS ETABLIS DANS LE CADRE DES MISSIONS AVP ET PRO

Pour mémoire, les principaux résultats établis dans le cadre des études antérieures (AVP et PRO) sont rappelés dans cette section.

Les études hydrauliques au stade AVP et PRO ont été réalisées à l'aide d'un modèle hydraulique TELEMAC 2D. Ce même modèle a été réutilisé dans le cadre des études complémentaires. Le détail de la construction du modèle, des données de base utilisées et du calage est présenté dans le rapport d'étude AVP. Au stade Projet, les conclusions de l'étude hydraulique étaient les suivantes :

- Le rehaussement de la ligne d'eau pour l'état projet par rapport à l'état actuel lors de la crue de premier débordement ( $Q=160 \text{ m}^3/\text{s}$ ) était de l'ordre de 2 cm à l'amont du barrage et de 1,2 cm à Nogent-sur-Seine. Pour une crue de premier débordement, la reconstruction du barrage de Beaulieu n'induisait aucun débordement en lit majeur sur les zones à enjeux ;
- Pour la crue de référence (antérieure au PPRI 2020), sans écrêtement des lacs réservoirs, de débit  $Q=720 \text{ m}^3/\text{s}$ , le rehaussement de la ligne d'eau à l'amont du barrage était de l'ordre de 1 cm et inférieur au millimètre au pont de Nogent-sur-Seine. L'impact du nouveau barrage sur les lignes d'eau a donc été qualifié de négligeable pour les fortes crues ;
- Lors de la phase travaux, la construction des passes rive gauche a une incidence plus importante sur les lignes d'eau que la construction des passes rive droite. Pour le débit d'abattage du barrage actuel de  $120 \text{ m}^3/\text{s}$ , le rehaussement de la ligne d'eau est de 37,2 cm à l'amont immédiat du barrage de Beaulieu et de 25,0 cm au Pont de Nogent-sur-Seine. Ces niveaux d'eau restent inférieurs aux niveaux d'eau en état actuel de la crue de premier débordement ( $Q=160 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Les niveaux d'eau obtenus en phase travaux à Nogent-sur-Seine sont inférieurs à la cote de vigilance de crue définie à Nogent-sur-Seine.

### 3. VERIFICATION DU CALAGE DU MODELE HYDRAULIQUE

#### 3.1. VERIFICATION A PARTIR DES DONNEES VNF

Dans le cadre de la vérification du calage du modèle hydraulique, Voies Navigables de France a transmis à ARTELIA les mesures de niveaux d'eau à l'amont et à l'aval du barrage de Beaulieu ainsi qu'à l'écluse de Beaulieu (chroniques de données du 18/02/2020 au 22/02/2022). Les débits mesurés à la station hydrométrique de Pont-sur-Seine sur cette même période de temps ont aussi été transmis par VNF.

Un premier traitement des données de niveaux et de débit consistant à écarter les valeurs douteuses a été réalisé par ARTELIA. Après traitement, la chronique des données de débit à Pont-sur-Seine est la suivante :

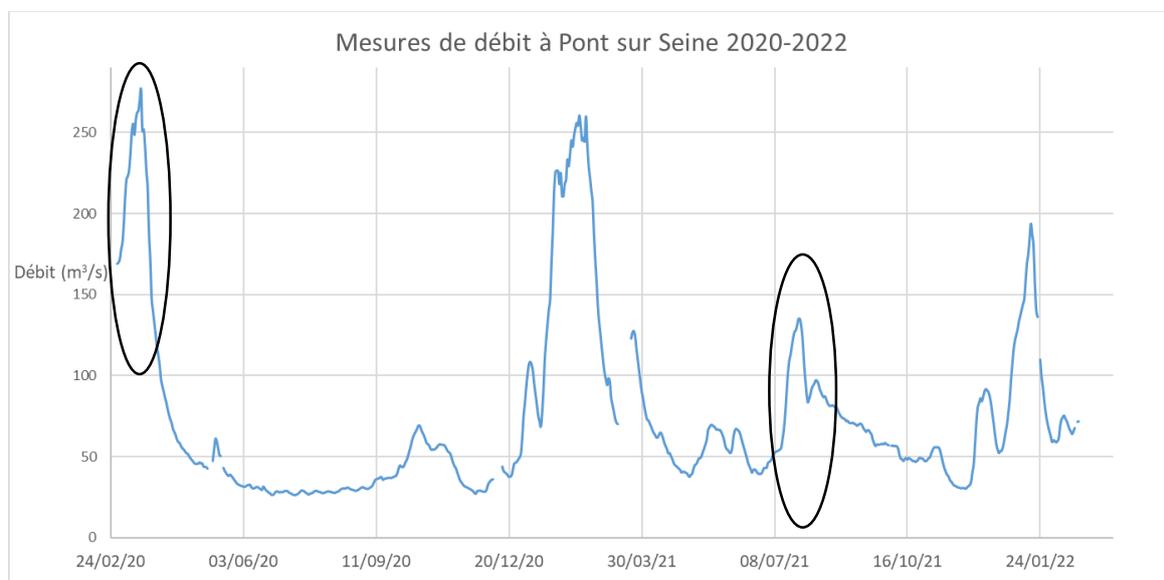


Figure 1 : Chronique de débit enregistrée à Pont-sur-Seine 2020-2022

Les deux crues suivantes ont été retenues pour vérifier le calage du modèle (entourées cf. Figure 1) :

- Crue du 18/03/2020,  $Q_{max}=277 \text{ m}^3/\text{s}$  ;
- Crue du 28/07/2021,  $Q_{max}=135 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Les résultats fournis par le modèle hydraulique ont été étudiés au droit de cinq points particuliers, déjà définis dans le cadre des études précédentes. Ces points particuliers correspondent pour l'essentiel à des zones d'enjeu :

- L'amont immédiat du barrage de Beaulieu ;
- Le bourg de Beaulieu ;
- L'amont de l'écluse de Beaulieu ;
- L'aval de la boucle de Nogent-sur-Seine ;
- Le Pont de Nogent-sur-Seine.

La localisation géographique de ces 5 points particuliers est représentée ci-dessous :

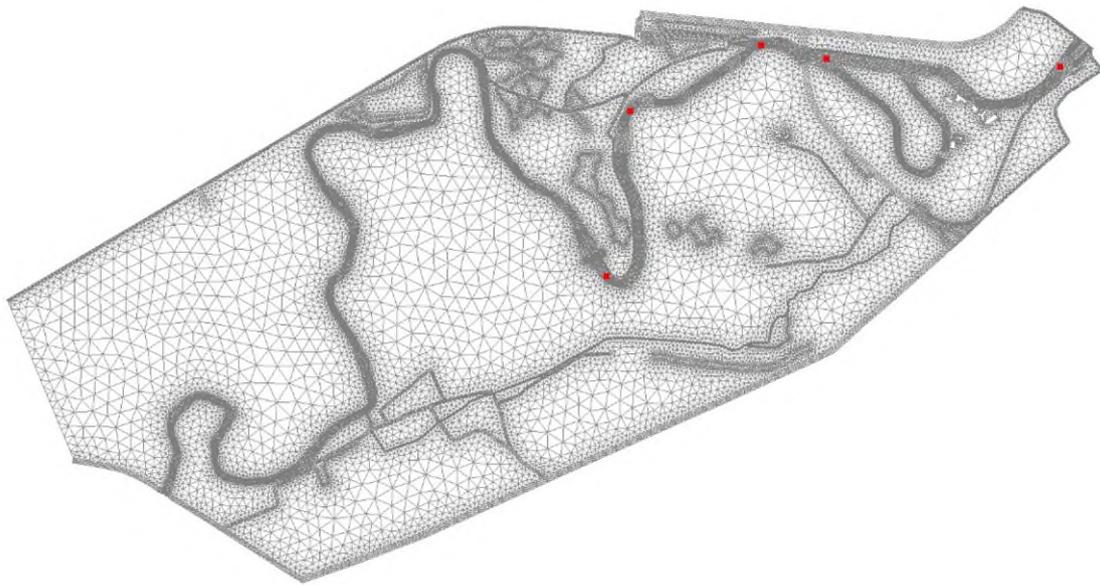


Figure 2: Localisation des points de comparaison des niveaux d'eau

### 3.1.1. Crue de juillet 2021 (135 m<sup>3</sup>/s)

Les résultats obtenus par modélisation pour la crue du 28/07/2021 sont résumés sur le profil en long et dans le tableau ci-dessous.

La simulation pour la crue de juillet 2021 a été réalisée en ajustant l'ouverture du barrage existant de façon à obtenir une ligne d'eau amont compatible avec les niveaux mesurés.

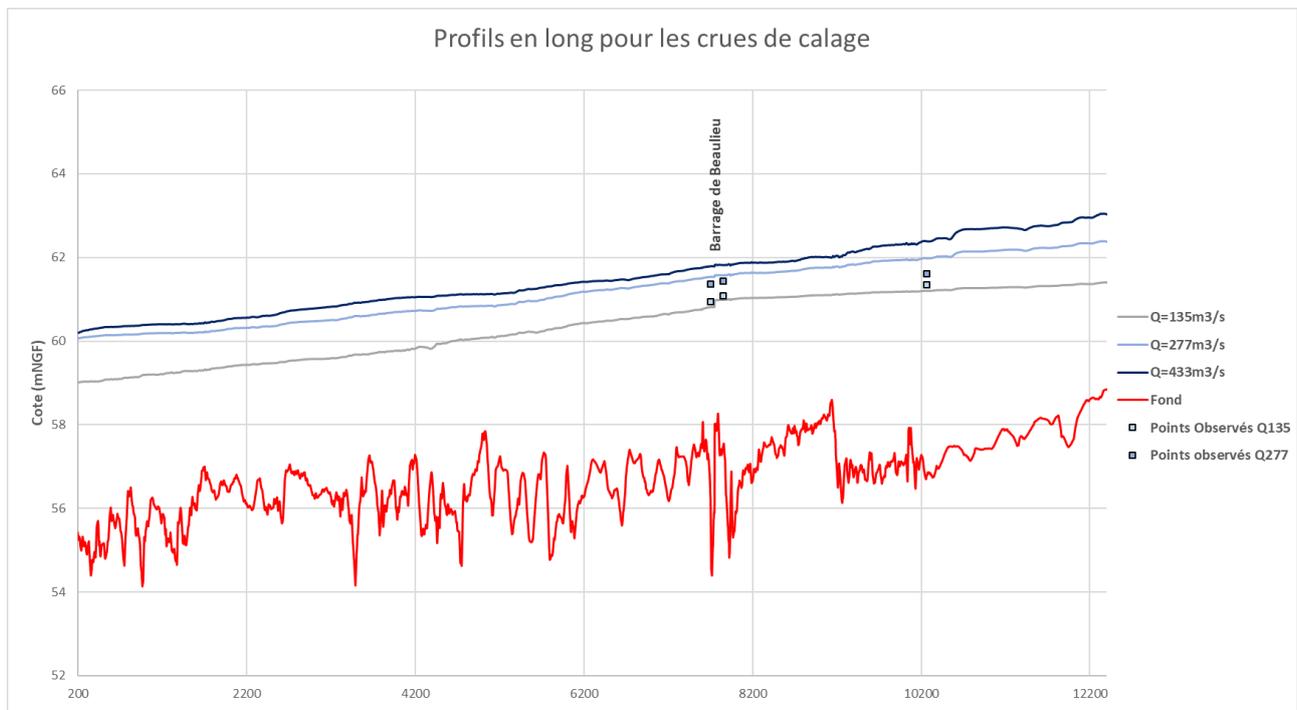


Figure 3: Lignes d'eau calculées pour les crues issues des données VNF

**Tableau 1- Vérification du calage du modèle crue du 28/07/2021 Q=135 m<sup>3</sup>/s**

Localisation	Niveaux observés (m NGF)	Niveaux calculés (m NGF)	ΔZ (cm)
Aval du barrage de Beaulieu	60.94	60.803	- 13,7
Amont du barrage de Beaulieu	61.08	60.995	-8.5
Bourg de Beaulieu	/	61.112	/
Amont de l'écluse de Beaulieu	61.35	61.198	-15,2
Aval de la boucle de Nogent	/	61.267	/
Pont de Nogent-sur-Seine	/	61.390	/

La ligne calculée pour la crue de juillet 2021 s'établit harmonieusement. Les écarts constatés entre la ligne d'eau et les mesures sont globalement inférieurs à 15 cm, ce qui témoigne d'un calage du modèle satisfaisant.

### 3.1.2. Crue de mars 2020 (277 m<sup>3</sup>/s)

Les résultats obtenus par modélisation pour la crue de mars 2020 sont résumés sur le profil en long précédent et dans le tableau ci-avant.

**Tableau 2- Vérification du calage du modèle, crue du 18/03/2020 Q=277 m<sup>3</sup>/s**

Localisation	Niveaux observées (m NGF)	Niveaux calculés (m NGF)	ΔZ (cm)
Aval du barrage de Beaulieu	61.36	61.522	+ 16,2
Amont du barrage de Beaulieu	61.43	61.577	+ 14,7
Bourg de Beaulieu	/	61.785	/
Amont de l'écluse de Beaulieu	61.81	61.973	+ 16,3
Aval de la boucle de Nogent	/	62.138	/
Pont de Nogent-sur-Seine	/	62.338	/

Les résultats de la crue du 18/03/2020 aux points de comparaison montrent une légère surestimation des niveaux d'eau par le modèle pour le débit de 277 m<sup>3</sup>/s.

Cette surestimation pourrait provenir de la non représentation dans le modèle du contournement de la centrale EDF située en amont de Nogent-sur-Seine. En effet, la construction du modèle lors des études antérieures a pris l'hypothèse que les débits observés à Pont-sur-Seine étaient injectés totalement au droit de la limite amont du modèle, c'est-à-dire à Nogent-sur-Seine. Cette hypothèse conduit par conséquent à majorer le débit qui transite par le barrage de Beaulieu, cette majoration étant plus importante à mesure de l'accroissement du débit de crue.

### 3.1.3. Conclusion

Les résultats de calcul sur ces deux crues montrent que les écarts constatés sont soit acceptables, soit explicables par les hypothèses prises en compte lors de la construction du modèle. Le modèle hydraulique dans son calage actuel permet ainsi de reproduire correctement les conditions d'écoulement de la Seine en période de crue.

Par conséquent, il peut être estimé que les nouvelles données transmises par VNF ne justifient pas l'ajustement du calage du modèle hydraulique. Celui-ci est donc exploitable pour les besoins de la présente étude.

### 3.2. VERIFICATION A PARTIR DES DONNEES ISSUES DE L'ETUDE BRAY-NOGENT

En complément des nouvelles données précédentes, VNF nous a communiqué les rapports d'étude Bray-Nogent, réalisée par SAFEGE, et dans lesquels se trouvent des données relatives à la crue de janvier 2018 (« Mission 15 : Modélisation de la crue de janvier-février 2018 »).

De ces rapports, nous avons utilisé les niveaux observés à l'amont et l'aval du barrage de Beaulieu pour la crue de janvier 2018.

Les données de débit fournies par la banque Hydro à Pont-sur-Seine pour la crue de 2018 ont permis de simuler cette crue. L'hydrogramme enregistré à Pont-sur-Seine est représenté ci-après :

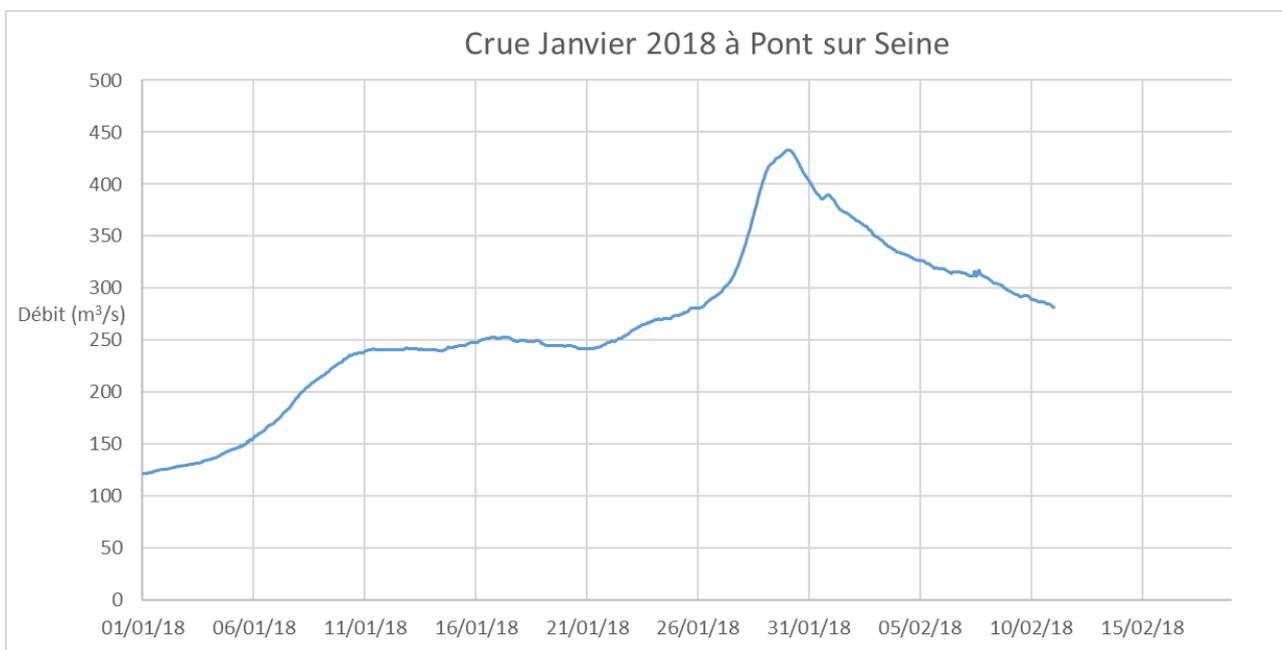


Figure 4: Hydrogramme enregistré à Pont-sur-Seine pour la crue de janvier 2018

Le débit maximal enregistré à Pont-sur-Seine pour la crue est de 433 m<sup>3</sup>/s, l'hypothèse que l'ensemble du débit transite par le barrage de Beaulieu est conservée.

Les données de niveaux à l'amont et l'aval du barrage de Beaulieu de la crue de janvier 2018 ont été reportées sur le même graphique que celles issues de la chronique de données de 2020 à 2022 fournie par VNF (cf. figure ci-dessous). Sur cette figure, il peut être constaté que les données observées au barrage de Beaulieu lors de la crue de 2018 sont largement surestimées (écarts d'au minimum 20 à 30 cm) au vu des courbes tendances observées sur les données de 2020 à 2022. On représente ci-dessous les points observés au droit du barrage, et les données VNF transmises sur la période 2020-2022 à titre de comparaison.

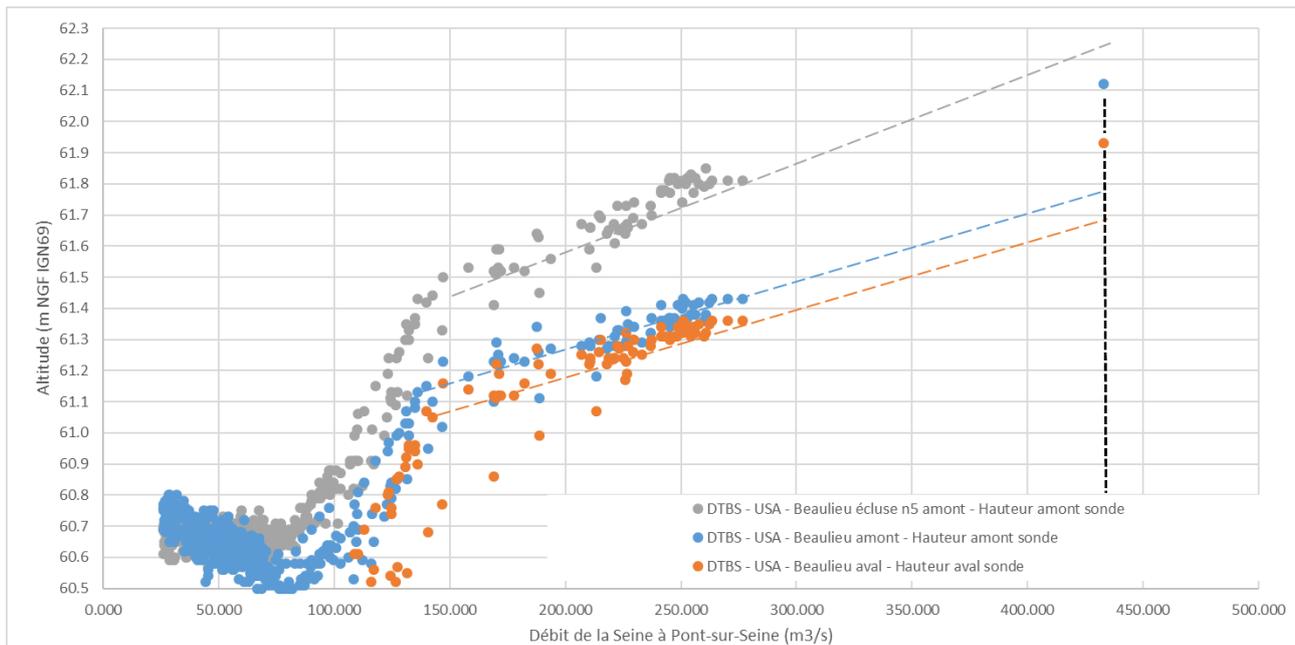


Figure 5: Données issues de l'étude Bray-Nogent ( $Q=433 \text{ m}^3/\text{s}$ ) et données fournies par VNF

La crue de janvier 2018 a été simulée avec le modèle et les niveaux calculés au droit du barrage et de l'écluse sont reportés à la figure ci-dessous.

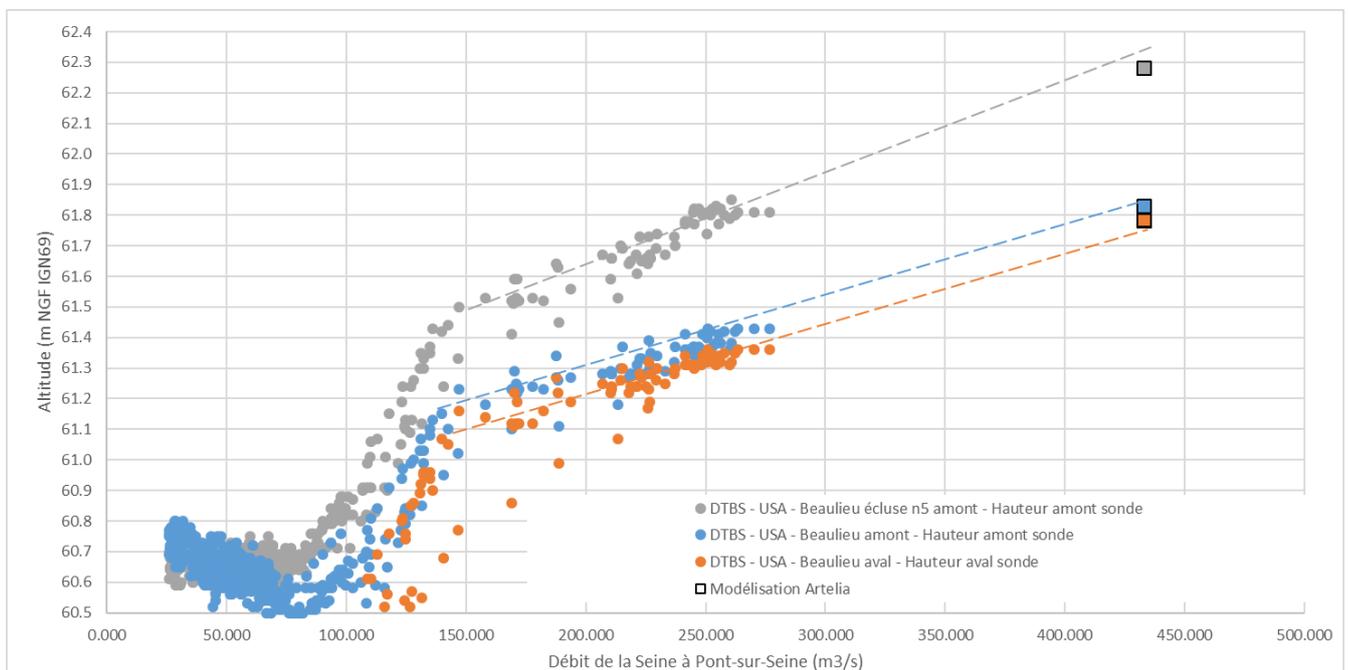


Figure 6: Résultats calculés pour la crue 2018

Les résultats obtenus par modélisation à l'amont et à l'aval du barrage et à l'amont de l'écluse de Beaulieu sont dans les gammes de valeurs attendues vis-à-vis des courbes de tendance, contrairement à ce qui a été constaté précédemment avec les données issues de l'étude Bray-Nogent.

Ces résultats corroborent la conclusion établie précédemment avec les crues de mars 2020 et juillet 2021, dans le sens où ils confirment le calage satisfaisant du modèle hydraulique.

## 4. COMPLEMENT D'ETUDE SUR LA CONDITION AVAL

### 4.1. ANALYSE DE SENSIBILITE DE LA LOI Z/Q AVAL

Une analyse de la sensibilité des résultats du modèle par rapport à la définition de la loi Z/Q aval a été effectuée dans le cadre des études préliminaires (janvier 2013). Le sommaire du rapport d'études préliminaires est rappelé en Annexe 1 du présent rapport, tandis que l'extrait relatif à l'analyse de sensibilité du modèle est fourni en Annexe 2.

D'après les résultats de cette analyse, l'influence de la condition aval est faible par rapport à la zone d'étude correspondant principalement au barrage de Beaulieu, mais aussi à l'écluse de Beaulieu et de l'aval de Nogent-sur-Seine. En effet, la condition aval amène une incertitude de l'ordre de  $\pm 2$  cm au droit du barrage de Beaulieu pour des variations de  $\pm 20$  cm du niveau d'eau au Pont du Courceroy. Ceci peut être expliqué par le fait que l'extrémité aval du modèle hydraulique (et donc aussi la condition aval du modèle) a été positionnée suffisamment loin en aval de la zone d'étude, à environ 8 km du barrage de Beaulieu.

En conclusion, il a donc été considéré que le modèle hydraulique a été construit correctement, qu'une incertitude dans la définition de la condition aval n'a pas d'influence significative sur les résultats de la zone d'étude et que le modèle hydraulique était en mesure de répondre aux besoins des études hydrauliques du barrage de Beaulieu.

### 4.2. VERIFICATION DE LA COHERENCE DE LA LOI Z/Q AVAL AVEC LES DONNEES DE LA CRUE DE 2018

#### 4.2.1. Données de niveaux d'eau

Les données de niveaux d'eau relatives à la crue de janvier 2018 dans le secteur d'étude sont peu nombreuses et très dispersées.

Le projet Bray-Nogent a fait l'objet d'une étude spécifique sur la crue de janvier 2018. Dans ce rapport daté de novembre 2018, il est rapporté un niveau d'eau observé de 59,70 m NGF au pont de Courceroy, soit sensiblement au droit de la limite aval du modèle hydraulique. Le débit de pointe de la crue de 2018 est donné à 433 m<sup>3</sup>/s à Pont-sur-Seine par HydroPortail.

En parallèle, la loi Z/Q qui a été définie lors des études préliminaires et utilisée depuis lors dans le modèle ARTELIA donne pour ce même débit, un niveau d'eau de 60 m NGF. Il est ainsi constaté un écart de +30 cm avec le niveau d'eau observé. Cet écart est cependant du même ordre de grandeur que la variation de  $\pm 20$  cm imposée au droit de la condition aval lors de l'analyse de sensibilité (cf. § précédent).

Il peut ainsi être indiqué que la loi Z/Q telle qu'elle a été définie en 2013 pour les besoins des études hydrauliques du barrage de Beaulieu est cohérente avec les données observées de la crue de 2018. Par ailleurs, l'unique donnée de niveau d'eau observée pour cette crue de 2018 et disponible au droit de la condition aval du modèle ne remet pas en cause la loi Z/Q telle qu'elle a été utilisée dans le modèle hydraulique.

#### 4.2.2. Données piézométriques

VNF a transmis à Artelia les données enregistrées par les piézomètres en aval du pont de Courceroy durant la crue de 2018. Le piézomètre le plus proche, piézomètre Pz052a, se situe à Villiers-sur-Seine (à 6 kilomètres en aval de la limite de notre modèle hydraulique). Sa localisation est représentée sur la figure ci-dessous :

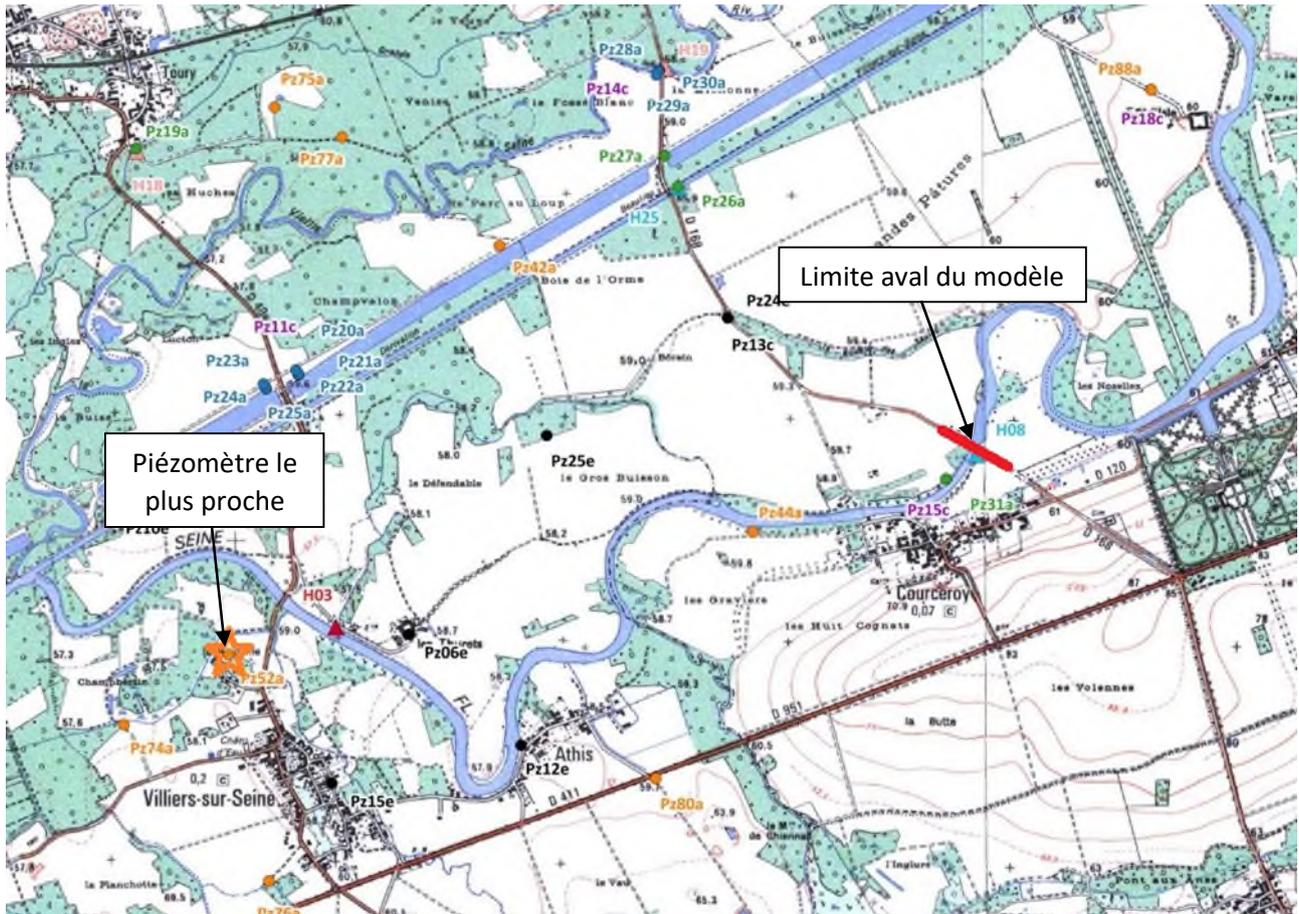


Figure 7: Localisation du piézomètre par rapport à la limite aval de notre modèle

L'évolution des niveaux piézométriques mesurée par le piézomètre Pz052a est représentée en rouge sur la figure ci-dessous :

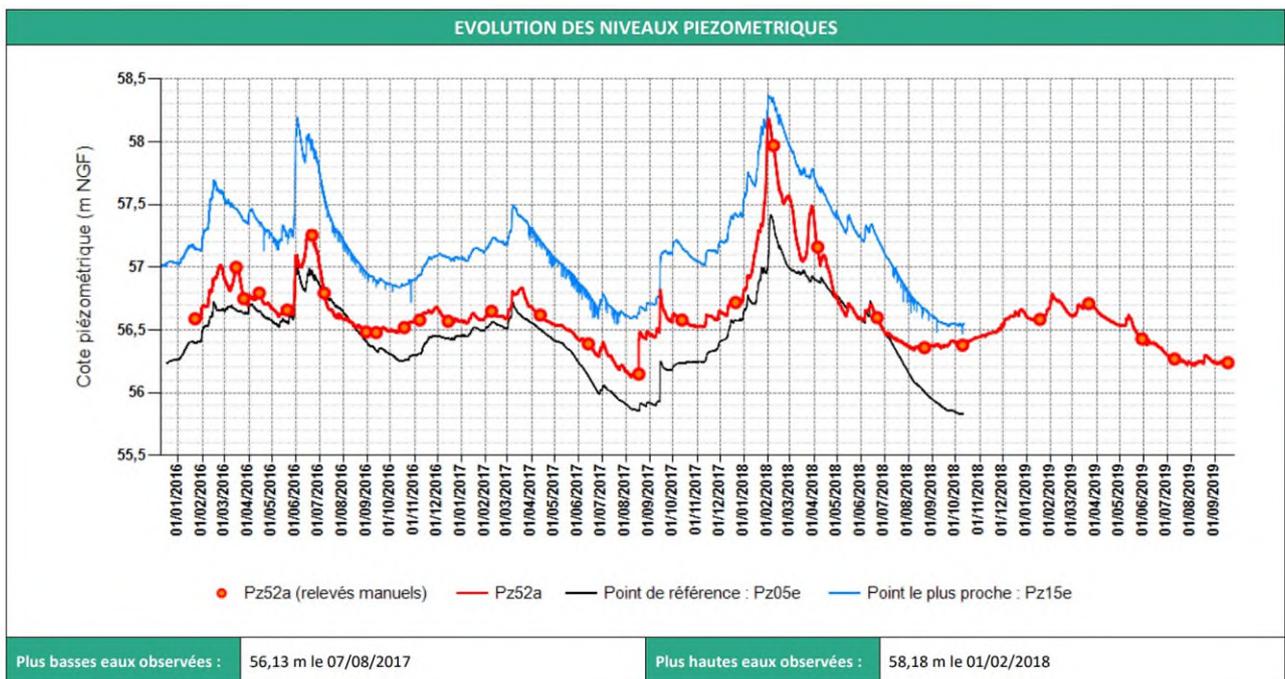


Figure 8: Niveaux piézométriques enregistrés à Villers-sur-Seine, en aval du Pont de Courceroy

Etudes complémentaires liées aux aspects hydrauliques soulevés lors de l'instruction du dossier d'autorisation  
RECONSTRUCTION DU BARRAGE DE BEAULIEU

On observe que pour la crue de janvier 2018, une augmentation des niveaux d'eau mesurés de 1,7 m est enregistrée par rapport à la moyenne hors crue.

Lors des calculs hydrauliques, le niveau aval du modèle pour le débit d'abattage  $Q=120 \text{ m}^3/\text{s}$  était retenu à  $Z_{\text{aval}}=58.2 \text{ m NGF}$  (cf. Figure 11). Lors du passage de la crue de 2018 ( $Q=433 \text{ m}^3/\text{s}$ ), le niveau en aval du modèle a été pris à  $Z_{\text{aval}}=60 \text{ m NGF}$  (cf. Figure 3) soit une augmentation de 1,8 m par rapport à la moyenne hors crue.

Ainsi, les données piézométriques fournies par VNF sont cohérentes avec les conditions aux limites aval utilisées lors des modélisations hydrauliques.

## 5. VERIFICATION DU DIMENSIONNEMENT DU BARRAGE

### 5.1. INCIDENCES DU PROJET POUR LA CRUE CENTENNALE (PPRI 2020)

Le Plan de Prévention du Risque Inondation (PPRI) de la Seine aval approuvé le 20/01/2020 a fourni une nouvelle estimation du débit de pointe de la crue de référence centennale. En effet, ce PPRI estime le débit de la crue de 1910 à  $780 \text{ m}^3/\text{s}$ , à comparer à  $720 \text{ m}^3/\text{s}$  établi dans le PPRI précédent.

Les tableaux ci-après présentent les résultats obtenus pour l'ancien débit et le nouveau débit de la crue centennale.

**Tableau 3- Rappel des valeurs de niveaux d'eau et d'incidence pour la crue  $Q=720 \text{ m}^3/\text{s}$**

Localisation	État actuel (m NGF)	Etat projet (m NGF)	$\Delta Z$ (cm)
Amont du nouveau barrage	62,154	62,165	1,1
Bourg de Beaulieu	62,401	62,404	0,2
Amont de l'écluse de Beaulieu	62,816	62.817	0.1
Aval de la boucle de Nogent	63,260	63,260	0,0
Pont de Nogent-sur-Seine	63,622	63,622	0,0

**Tableau 4- Niveaux d'eau et incidence pour la crue  $Q=780 \text{ m}^3/\text{s}$**

Localisation	État actuel (m NGF)	Etat Projet (m NGF)	$\Delta Z$ (cm)
Amont du nouveau barrage	62,214	62,224	1,0
Bourg de Beaulieu	62,465	62,468	0,3
Amont de l'écluse de Beaulieu	62,876	62,878	0.2
Aval de la boucle de Nogent	63,345	63,346	0,1
Pont de Nogent-sur-Seine	63,714	63,714	0,0

Ces résultats montrent l'absence d'un rehaussement de la ligne d'eau supérieur au centimètre pour les zones à enjeux situées en amont du nouveau barrage. Le rehaussement de la ligne d'eau est le plus important à l'amont immédiat du barrage avec +1,0 cm. Plus en amont, une augmentation de 0,2 cm est observée au droit de l'écluse de Beaulieu. Enfin, le rehaussement de la ligne d'eau s'atténue progressivement jusqu'à une incidence nulle au pont de Nogent-sur-Seine.

Ces résultats permettent d'affirmer que le nouveau barrage aura un impact négligeable sur la ligne d'eau au droit des enjeux identifiés, y compris pour la crue de référence centennale. Le dimensionnement du nouveau barrage tel qu'il a été effectué dans le cadre des études de conception (AVP et PRO) peut donc être maintenu, même en tenant compte de la nouvelle estimation de la crue centennale.

Etudes complémentaires liées aux aspects hydrauliques soulevés lors de l'instruction du dossier d'autorisation  
RECONSTRUCTION DU BARRAGE DE BEAULIEU

## 5.2. INCIDENCES POUR DES CRUES INTERMEDIAIRES

En complément des calculs précédents, les incidences du nouveau barrage sur les lignes d'eau ont été évaluées pour deux crues intermédiaires. Ces crues « intermédiaires » correspondent à la crue de janvier 2018, déjà utilisée lors de la vérification du modèle, et une crue de débit  $Q=300 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### 5.2.1. Crue de janvier 2018

Les résultats obtenus par modélisation pour l'état actuel et pour l'état du projet pour la crue de débit  $Q=433 \text{ m}^3/\text{s}$  sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5- Niveaux d'eau et incidence pour la crue de janvier 2018 ( $Q=433 \text{ m}^3/\text{s}$ )**

Localisation	État actuel (m NGF)	Etat projet (m NGF)	$\Delta Z$ (cm)
Amont du nouveau barrage	61,828	61,844	1,6
Bourg de Beaulieu	62,056	62,061	0,5
Amont de l'écluse de Beaulieu	62,381	62,383	0,2
Aval de la boucle de Nogent	62,672	62,673	0,1
Pont de Nogent-sur-Seine	62,975	62,975	0,0

Ces résultats montrent que pour la crue de janvier 2018, le rehaussement de la ligne d'eau est inférieur à 1 cm au droit du bourg de Beaulieu et en amont. Par conséquent, le projet de nouveau barrage n'aura pas d'incidences sur les zones à enjeux.

### 5.2.2. Crue intermédiaire de débit $Q=300 \text{ m}^3/\text{s}$

Les résultats obtenus par modélisation pour l'état actuel et pour l'état projet pour la crue de débit  $Q=300 \text{ m}^3/\text{s}$  sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 6- Niveaux d'eau et incidence pour une crue intermédiaire ( $Q=300 \text{ m}^3/\text{s}$ )**

Localisation	État actuel (m NGF)	Etat projet (m NGF)	$\Delta Z$ (cm)
Amont du nouveau barrage	61.622	61.641	1,9
Bourg de Beaulieu	61.835	61.843	0,8
Amont de l'écluse de Beaulieu	62.045	62.052	0,7
Aval de la boucle de Nogent	62.229	62.236	0,7
Pont de Nogent-sur-Seine	62.445	62.450	0,5

Ces résultats montrent que pour la crue de débit  $Q=300 \text{ m}^3/\text{s}$ , le rehaussement de la ligne d'eau est inférieur à 1 cm au droit du bourg de Beaulieu et en amont. Par conséquent, le projet de nouveau barrage n'aura pas d'incidences sur les zones à enjeux.

### 5.3. INCIDENCES SUR L'ÎLE A L'AVAL DU BARRAGE DE BEAULIEU

Il a été noté qu'une île existe en aval du barrage existant. Cette île possède une forme en goutte d'eau avec le côté renflé vers l'amont, d'une longueur d'environ 160 m et d'une largeur de 40 m. L'extrémité amont de l'île se trouve à environ 50 m en aval du barrage existant (cf. figure suivante).

L'île est non accessible facilement et est fortement végétalisée.



Figure 9: Photographie aérienne de l'île aval

Dans l'état projet, après la construction du nouveau barrage de Beaulieu, l'île sera exposée à des sollicitations hydrauliques qui seront globalement inchangées par rapport à l'état initial.

En effet, les niveaux d'eau autour de l'île seront inchangés par rapport à l'état initial puisque ceux-ci sont dépendants des conditions d'écoulement qui prévalent en aval de l'île. Le nouveau barrage étant situé en amont de l'île, il ne pourra pas modifier les niveaux d'eau autour de l'île.

Le nouveau barrage pourra éventuellement contribuer à l'apparition d'une répartition latérale du débit différente, sous réserve que sa gestion soit nettement différente de celle réalisée à l'heure actuelle avec le barrage existant. Cependant, le projet prévoit le maintien du radier du barrage existant après arasement. Le radier du barrage existant permettra d'homogénéiser la répartition latérale du débit pour retrouver rapidement en aval du barrage existant des conditions d'écoulement similaires à l'existant, si ce n'est identiques.

Ainsi, il est attendu que l'île, étant exposée dans l'état projet à des conditions d'écoulement globalement similaires à celles de l'état initial, subisse des phénomènes d'érosion et d'atterrissement inchangés par rapport à la situation actuelle.

## 6. ETUDE DE LA PHASE TRAVAUX

### 6.1. RAPPEL DES RESULTATS ETABLIS AU STADE PRO

Les travaux de reconstruction du barrage de Beaulieu sont divisés en quatre phases :

- **Phase 1 : Phase préparatoire ;**
- **Phase 2 : Construction des deux passes rive gauche.** Batardeau de chantier pour la construction des deux passes rive gauche. L'écoulement de la Seine empruntera la section libre en rive droite. La régulation étant toujours assurée par le barrage existant ;
- **Phase 3 : Construction des deux passes rive droite et de l'ouvrage de franchissement piscicole.** Batardeau de chantier pour la construction des deux passes rive droite et de la passe à poissons. Le batardeau de chantier occupera approximativement la moitié du lit mineur et l'écoulement de la Seine empruntera la section libre située à gauche du batardeau de chantier ;
- **Phase 4 : Démolition du barrage existant.** Permutation de la tenue des niveaux entre le barrage existant et le nouveau barrage, démontage des organes mobiles du barrage existant, démolition des culées et de la pile du barrage existant, arasement de la passe déversoir.

Les travaux du nouveau barrage nécessiteront donc la création d'un batardeau de chantier pour les phases 2 et 3. Pendant ces deux phases, la section d'écoulement de la Seine sera limitée à la moitié de la section d'écoulement totale. Ces phases de travaux ont été simulées avec le modèle TELEMAT.

Au cours des études hydrauliques au stade Projet, il a été observé que pour le débit « d'abattage »  $Q=120 \text{ m}^3/\text{s}$ , le rehaussement de la ligne d'eau pour la phase de travaux 2 : « Construction des passes rive gauche » était plus important que pour la phase 3 : « Construction des passes rive droite ». Le tableau suivant récapitule les différences de niveaux entre l'état actuel et la phase travaux 2 aux points de référence.

Tableau 7- Réhaussement de la ligne d'eau pour la phase travaux 2- Débit d'abattage  $Q=120 \text{ m}^3/\text{s}$

Localisation	État actuel (m NGF)	Phase 2 travaux (m NGF)	$\Delta Z$ (cm)
Amont du nouveau barrage	60.679	61.051	37.2
Bourg de Beaulieu	60.821	61.146	32.5
Amont de l'écluse de Beaulieu	60.902	61.207	30.5
Aval de la boucle de Nogent	60.970	61.261	29.1
Pont de Nogent-sur-Seine	61.111	61.361	25.0

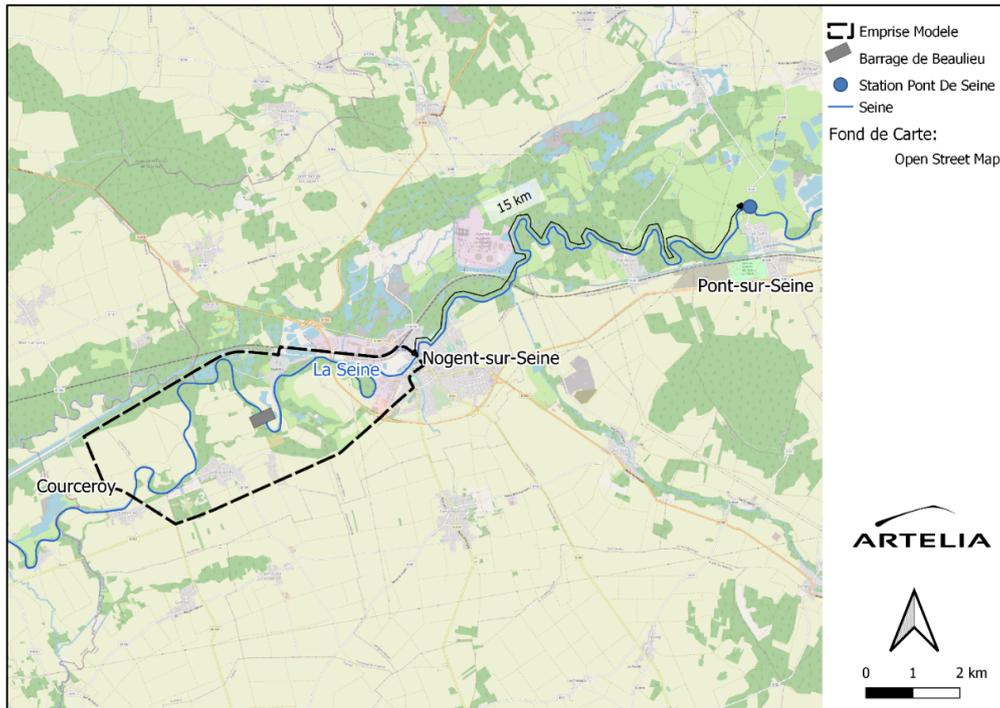
### 6.2. EVALUATION DE L'INCIDENCE DU BATARDEAU DE CHANTIER A PONT-SUR-SEINE

#### 6.2.1. Principes généraux

Pour répondre à la demande de la DRIEAT d'évaluer l'incidence de la phase travaux du barrage de Beaulieu à Pont-sur-Seine, il a été convenu d'appuyer l'analyse sur les résultats établis dans le cadre de l'étude Bray-Nogent, réalisée par SAFEGE pour le compte de VNF. Cette étude a été réalisée à l'aide d'un modèle hydraulique qui s'étend depuis Bray-

sur-Seine en aval à Pont-sur-Seine en amont. Ce modèle englobe donc très largement le secteur d'étude du barrage de Beaulieu.

Pont-sur-Seine dispose d'une station du SPC (prévision des crues). Pont-sur-Seine se situe à 15 km en amont de Nogent-sur-Seine, limite amont du modèle hydraulique ARTELIA (cf. figure ci-dessous).



**Figure 10: Localisation de la station de Pont-sur-Seine par rapport à l'emprise du modèle TELEMAC**

L'étude des incidences de la phase travaux à Pont-sur-Seine a été effectuée pour le cas le plus critique qui correspond à la phase 2 des travaux.

Deux cas de figure ont été simulés par ARTELIA pour la phase travaux :

- la crue d'abattage du barrage existant, de débit  $Q=120 \text{ m}^3/\text{s}$  ;
- la crue de premier débordement, de débit  $Q=160 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Ces valeurs de débit ont ensuite permis d'identifier un ensemble de crues calculées dans l'étude Bray-Nogent, pour lesquelles les lignes d'eau ont été récupérées. Ces crues ont été choisies pour encadrer largement les valeurs de débit d'abattage et de premier débordement et sont les suivantes :

- M1, Module interannuel (78  $\text{m}^3/\text{s}$ ) ;
- M2, Moyennes eaux mois de mars (105  $\text{m}^3/\text{s}$ ) ;
- CC1, crue courante, novembre 2002 (176  $\text{m}^3/\text{s}$ ) ;
- CC2, crue courante, mars 2006 (217  $\text{m}^3/\text{s}$ ) ;
- CD1, crue débordante, janvier 2002 (247  $\text{m}^3/\text{s}$ ).

## 6.2.2. Exploitation des résultats

Les lignes d'eau calculées par SAFEGE et ARTELIA ont été reportées sur le même profil en long (cf. figures ci-dessous). Les lignes d'eau calculées par SAFEGE (dégradé de bleu) sont uniquement représentatives de l'état initial (sans phase travaux du barrage de Beaulieu). Les lignes d'eau calculées par ARTELIA sont représentatives de l'état initial (en rouge) et de l'état travaux (en jaune), pour un débit de 120 m<sup>3</sup>/s, puis pour 160 m<sup>3</sup>/s.

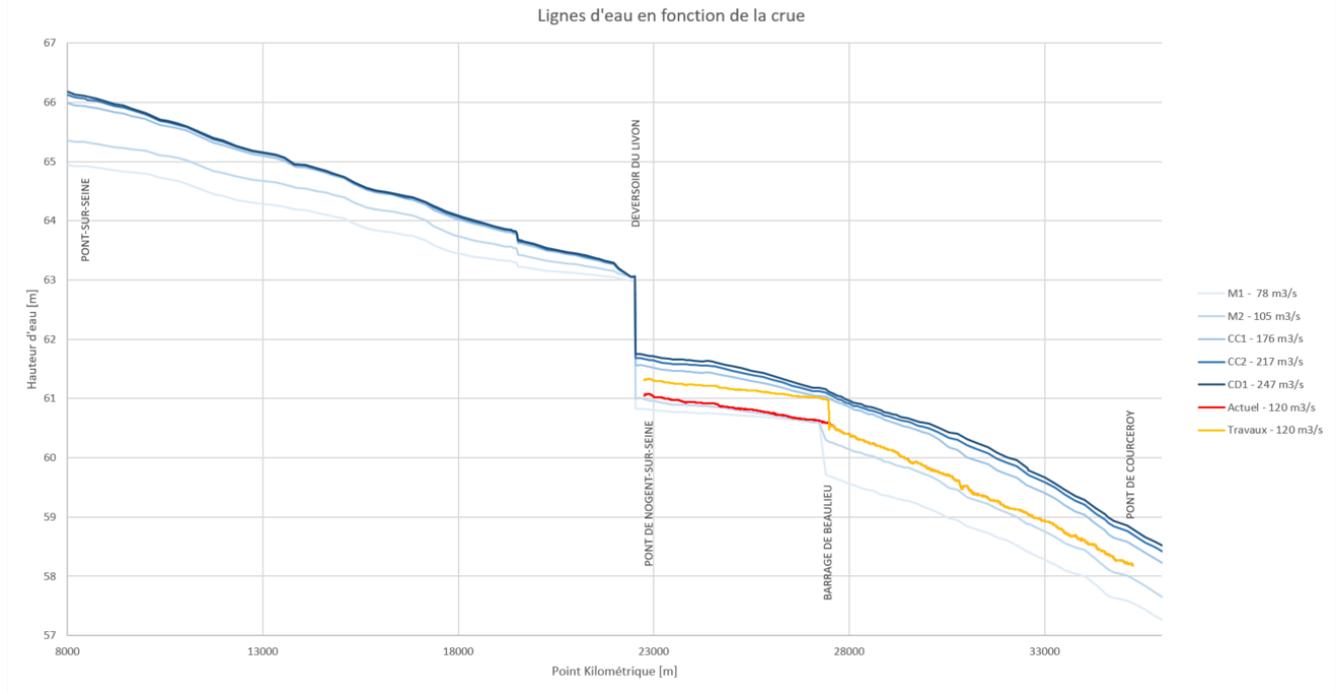


Figure 11: Lignes d'eau calculées dans l'état initial (en rouge) et en phase travaux (en jaune) pour  $Q=120 \text{ m}^3/\text{s}$

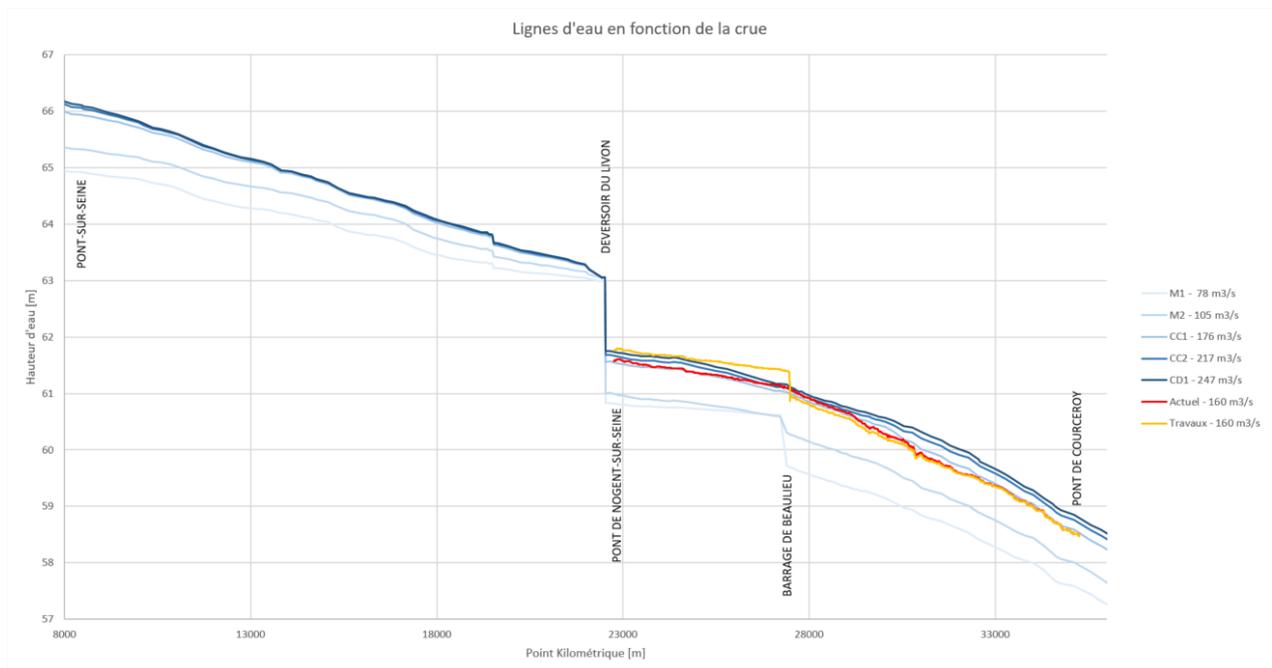


Figure 12 : Lignes d'eau calculées dans l'état initial (en rouge) et en phase travaux (en jaune) pour  $Q=160 \text{ m}^3/\text{s}$

Il peut être constaté d'une part, que les lignes d'eau représentatives de l'état initial sont cohérentes entre elles ; la ligne d'eau calculée par ARTELIA (en rouge) s'inscrit bien dans le fuseau des lignes d'eau calculées par SAFEGE, dans le périmètre commun des deux modèles.

D'autre part, les lignes d'eau calculées par SAFEGE montrent que la chute au droit du barrage du Livon est maintenue pour tous les débits étudiés : la chute est comprise entre 1,2 m pour le débit le plus fort (247 m<sup>3</sup>/s), à plus de 2 m pour le débit le plus faible (78 m<sup>3</sup>/s).

L'écoulement au droit du barrage du Livon est donc du type dénoyé pour les crues étudiées, ce qui semble cohérent avec la configuration physique du barrage du Livon. Celui-ci est en effet constitué de hausses de faible hauteur et d'un coursier en génie civil avec une forte chute, ce qui explique les résultats du modèle Safege et le rôle de déconnexion hydraulique que joue l'ouvrage entre l'amont et l'aval du Livon. (cf. photo ci-dessous).

Ainsi, les niveaux d'eau à l'aval du barrage du Livon ne peuvent avoir d'influence sur les lignes d'eau en amont du barrage. Par conséquent, le remous produit par les phases travaux du barrage de Beaulieu ne peut pas se propager en amont du barrage du Livon.



**Figure 13 : Vue de l'écoulement au droit du barrage du Livon**

### **6.2.3. Exploitation des résultats avec hypothèse pessimiste**

L'analyse des lignes d'eau calculées par SAFEGE présente cependant une anomalie au droit du barrage du Livon. En effet, pour les crues de novembre 2002 (Q=176 m<sup>3</sup>/s), mars 2006 (Q=217 m<sup>3</sup>/s) et janvier 2002 (Q=247 m<sup>3</sup>/s), on observe que le niveau d'eau est identique sur la crête du barrage du Livon. Le débit d'abattage du barrage du Livon est de l'ordre de 150 m<sup>3</sup>/s, ce qui devrait donc se traduire par une augmentation du niveau d'eau au fur à mesure de l'accroissement du débit.

Nous avons donc pris l'hypothèse de la suppression du barrage du Livon, ce qui correspond à une hypothèse plus favorable à la propagation vers l'amont du remous produit par les phases travaux du barrage de Beaulieu, donc pessimiste.

En supposant l'absence du barrage du Livon, les lignes d'eau calculées pour l'état actuel et la phase travaux ont été prolongées vers l'amont en conservant les pentes obtenues entre Beaulieu et Nogent-sur-Seine (cf. figures ci-dessous). Il est constaté que l'intersection des lignes d'eau entre l'état actuel et la phase travaux se produit bien en aval de Pont-sur-Seine : respectivement à plus de 5 km et plus de 4 km à l'aval de Pont-sur-Seine pour 120 et 160 m<sup>3</sup>/s.

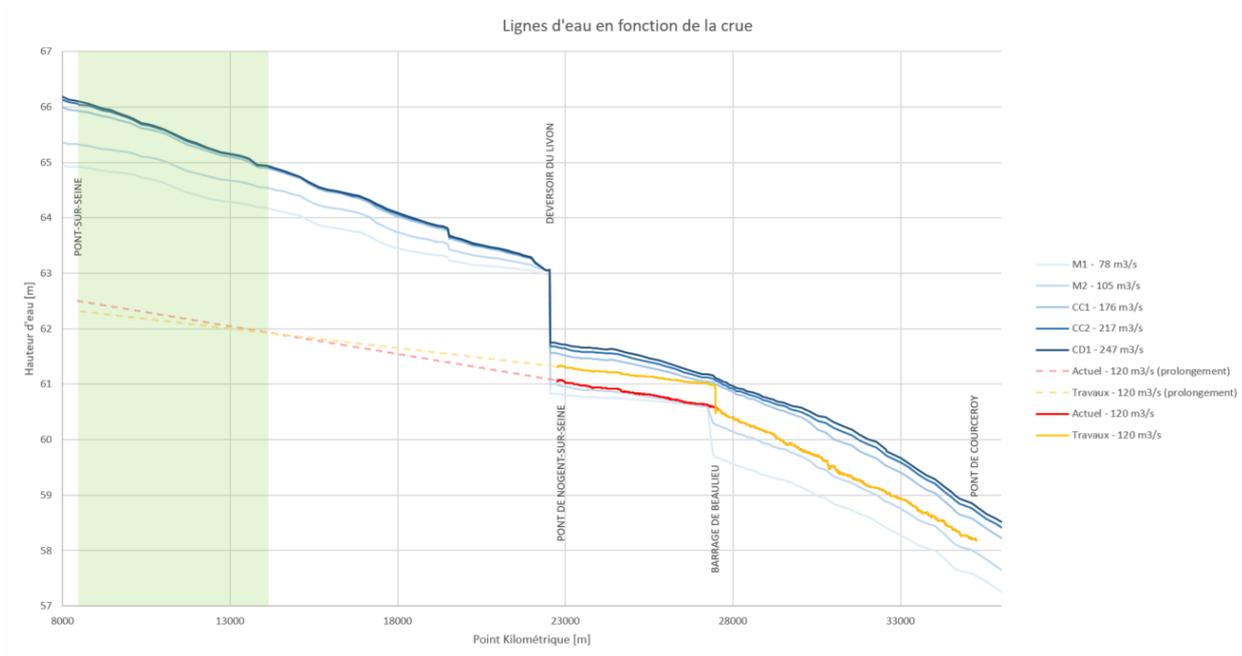


Figure 14 : Prolongement des lignes d'eau dans l'état actuel et en phase travaux pour  $Q=120 \text{ m}^3/\text{s}$

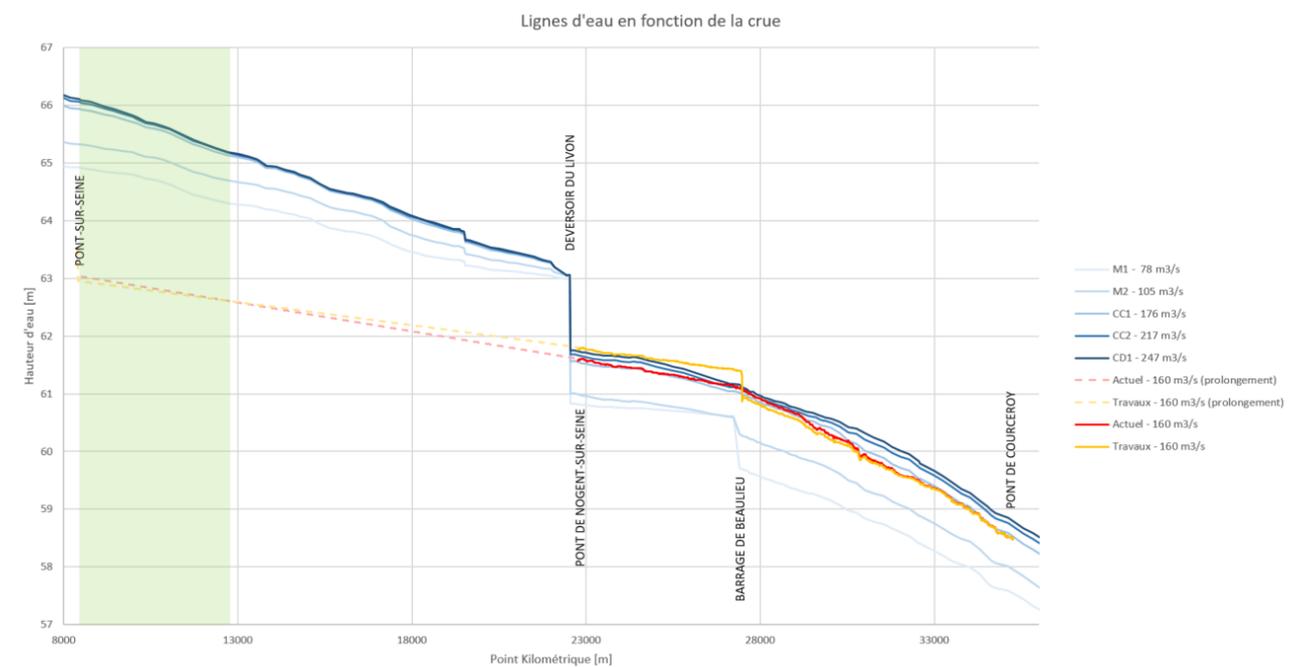


Figure 15: Prolongement des lignes d'eau dans l'état actuel et en phase travaux pour  $Q=160 \text{ m}^3/\text{s}$

Ces résultats démontrent l'absence d'incidence des travaux du barrage de Beaulieu à Pont-sur-Seine pour les crues étudiées, y compris dans l'hypothèse pessimiste où le barrage du Livon n'existait pas.

#### 6.2.4. Evaluation des incidences en période de fortes crues

Suite à la demande de simulations complémentaires de la part de la DRIEAT, l'incidence de la phase travaux du barrage de Beaulieu à Pont-sur-Seine en période de fortes crues a été évaluée. Les incidences sur la ligne d'eau du batardeau ont été calculées pour des débits de 350 m<sup>3</sup>/s à 500 m<sup>3</sup>/s par pas de 50 m<sup>3</sup>/s. Les résultats de ligne d'eau calculées par SAFEGE pour des débits plus importants ont été ajoutées aux profils en long précédents :

- CE1, crue de 1982 (293 m<sup>3</sup>/s) ;
- C3, crue de 2016b (294 m<sup>3</sup>/s) ;
- CD1, crue de 2001 (298 m<sup>3</sup>/s) ;
- CD3, crue de 2013 (359 m<sup>3</sup>/s) ;
- CE2, crue de 1955 (361 m<sup>3</sup>/s).
- CE3, crue de 1910 (461 m<sup>3</sup>/s).

L'hypothèse de la suppression du barrage du Livon est conservée, ce qui correspond à une hypothèse plus favorable à la propagation vers l'amont du remous produit par les phases travaux du barrage de Beaulieu, donc pessimiste. De même, le batardeau de chantier est considéré comme un « mur infini » et ne permet pas de surverses pour les débits importants, ce qui correspond également à une hypothèse pessimiste.

Les lignes d'eau calculées par SAFEGE sont représentées en dégradé de bleu et de gris. Les lignes d'eau calculées par ARTELIA sont représentatives de l'état initial (en rouge) et de l'état travaux (en jaune), pour les débits de 350 m<sup>3</sup>/s à 500 m<sup>3</sup>/s.

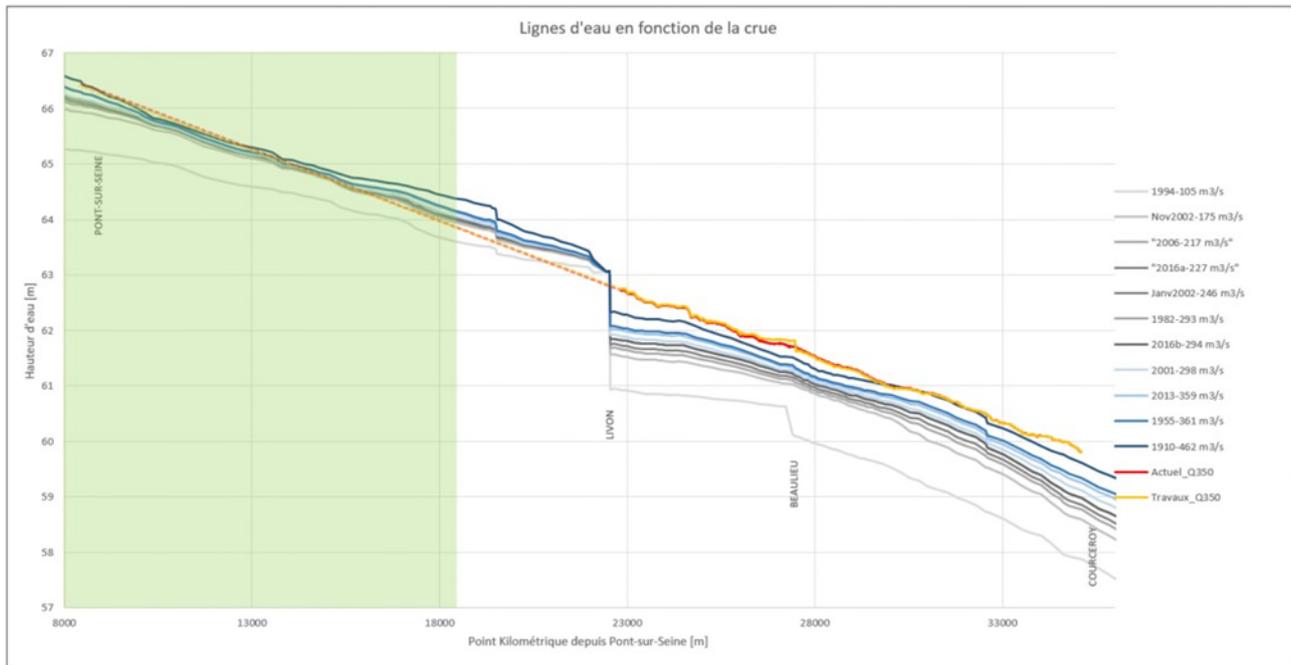


Figure 16: Prolongement des lignes d'eau dans l'état actuel et en phase travaux pour Q=350 m<sup>3</sup>/s

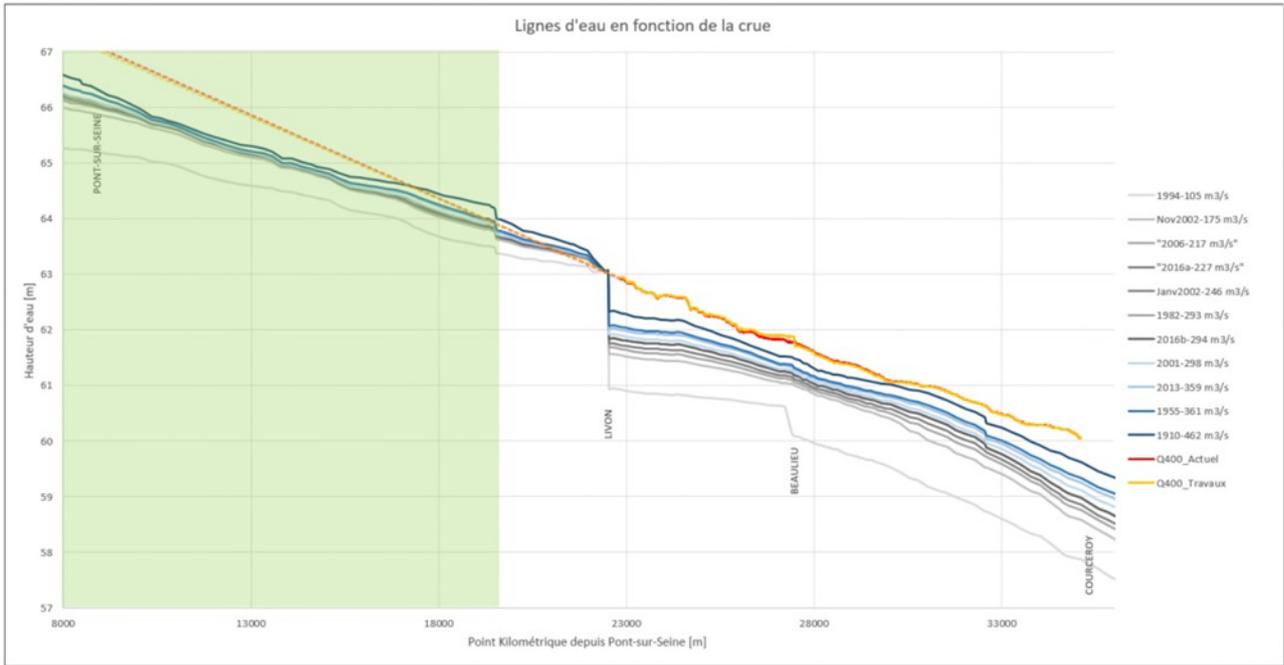


Figure 17: Prolongement des lignes d'eau dans l'état actuel et en phase travaux pour  $Q=400 \text{ m}^3/\text{s}$

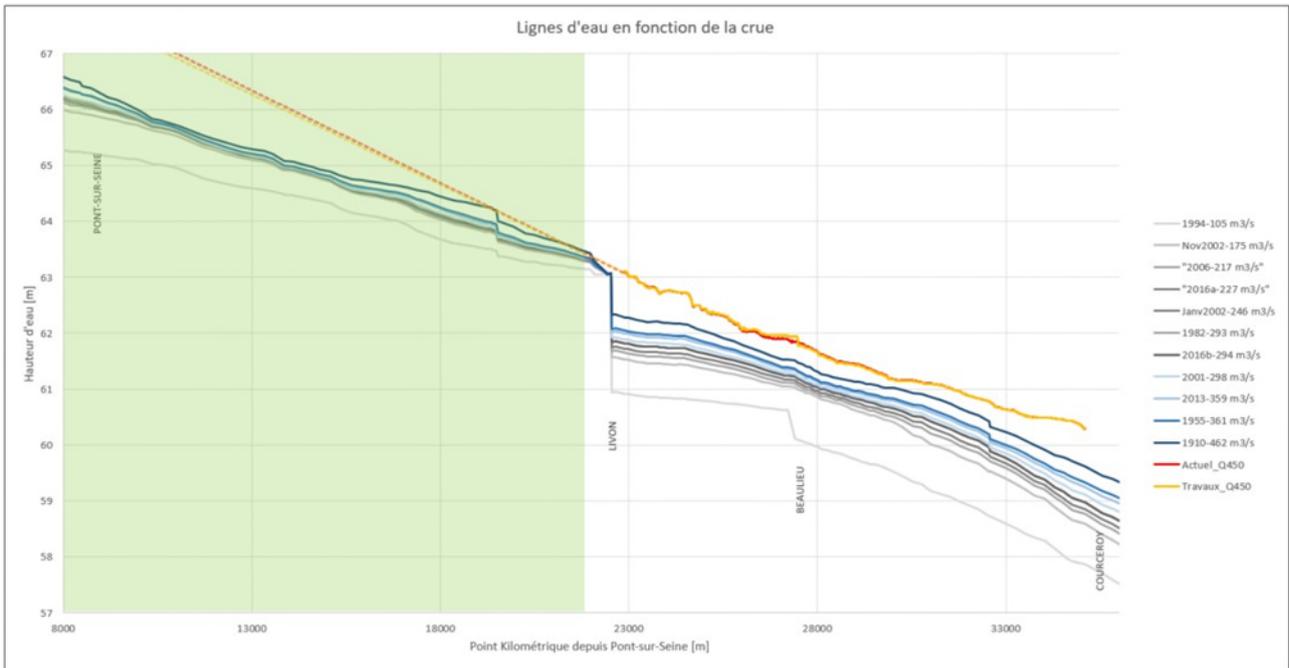


Figure 18: Prolongement des lignes d'eau dans l'état actuel et en phase travaux pour  $Q=450 \text{ m}^3/\text{s}$

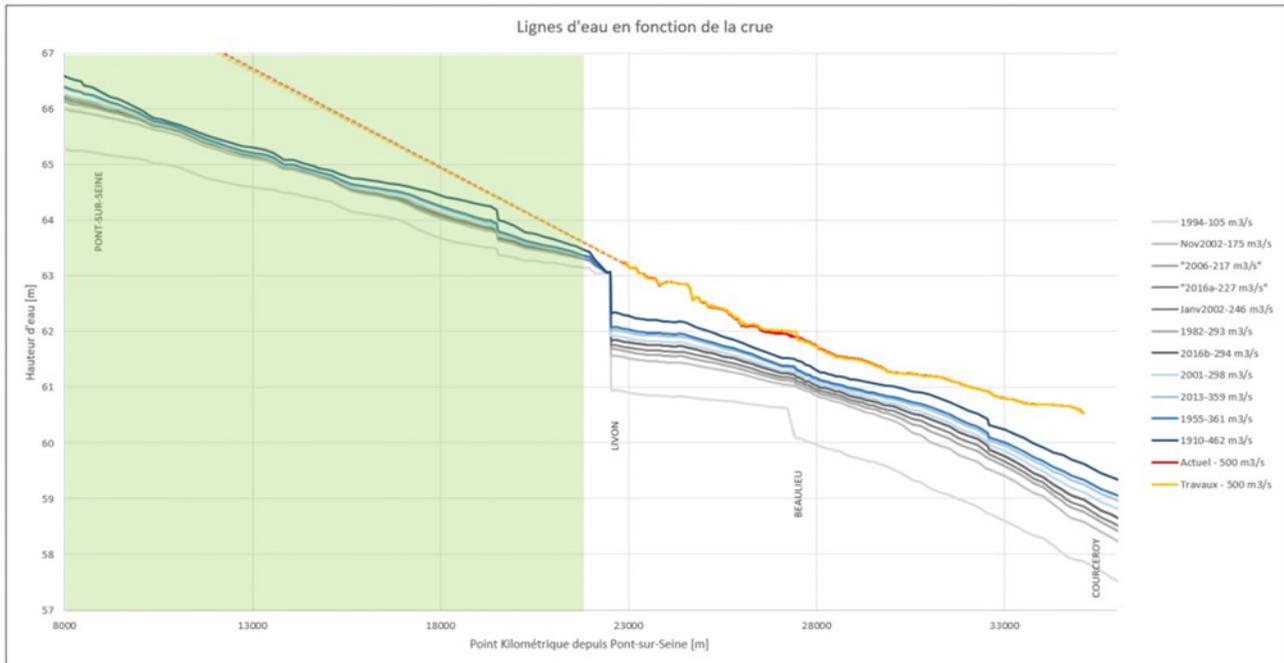


Figure 19: Prolongement des lignes d'eau dans l'état actuel et en phase travaux pour  $Q=500 \text{ m}^3/\text{s}$

Ces figures montrent qu'à mesure que le débit augmente, l'écart entre les lignes d'eau de la géométrie actuelle et celle de la phase travaux diminue. Ainsi pour un débit de  $350 \text{ m}^3/\text{s}$ , un écart de l'ordre de 3 cm est observé à Nogent-sur-Seine. Pour un débit de  $500 \text{ m}^3/\text{s}$ , cet écart chute à 0,7 cm à Nogent-sur-Seine.

Les lignes d'eau calculées par ARTELIA sont plus hautes que celles calculées lors de l'étude de SAFEGE. En effet, comme présenté au § 6.6.1., il existe une répartition des débits entre Pont-sur-Seine et Beaulieu. Pour la crue de 1910 calculée par SAFEGE, seuls  $261 \text{ m}^3/\text{s}$  transitent par Beaulieu sur les  $463 \text{ m}^3/\text{s}$  mesurés à Pont-sur-Seine. Par hypothèse sécuritaire, ARTELIA a considéré que l'intégralité du débit transitant à Pont-sur-Seine transite par le barrage de Beaulieu.

Ces résultats démontrent à nouveau une absence d'incidence des travaux du barrage de Beaulieu à Pont-sur-Seine, y compris dans les hypothèses pessimistes où le barrage du Livon n'existe pas et où le batardeau de chantier est un « mur infini ».

## 6.3. EVALUATION DE L'INCIDENCE DES PIEUX EN PHASE TRAVAUX

### 6.3.1. Introduction

Pendant la phase travaux, un ensemble de pieux seront implantés transversalement au lit mineur, au pied aval du nouveau barrage et en amont du barrage existant. Ces pieux auront pour fonction de supporter une passerelle d'accès au chantier ainsi que la glissière permettant l'exploitation de la passe rive droite du barrage actuel avec l'embarcation « La Besogne » (cf. figure suivante).

La passerelle d'accès sera positionnée au-dessus de la cote de la crue centennale, donc hors d'eau en phase chantier. Le nombre de pieux positionnés en lit mineur sera de 9 et leur diamètre sera de l'ordre de 600 mm.

La question de la DRIEAT relative à ces pieux porte sur la détermination de leur incidence hydraulique en phase travaux.

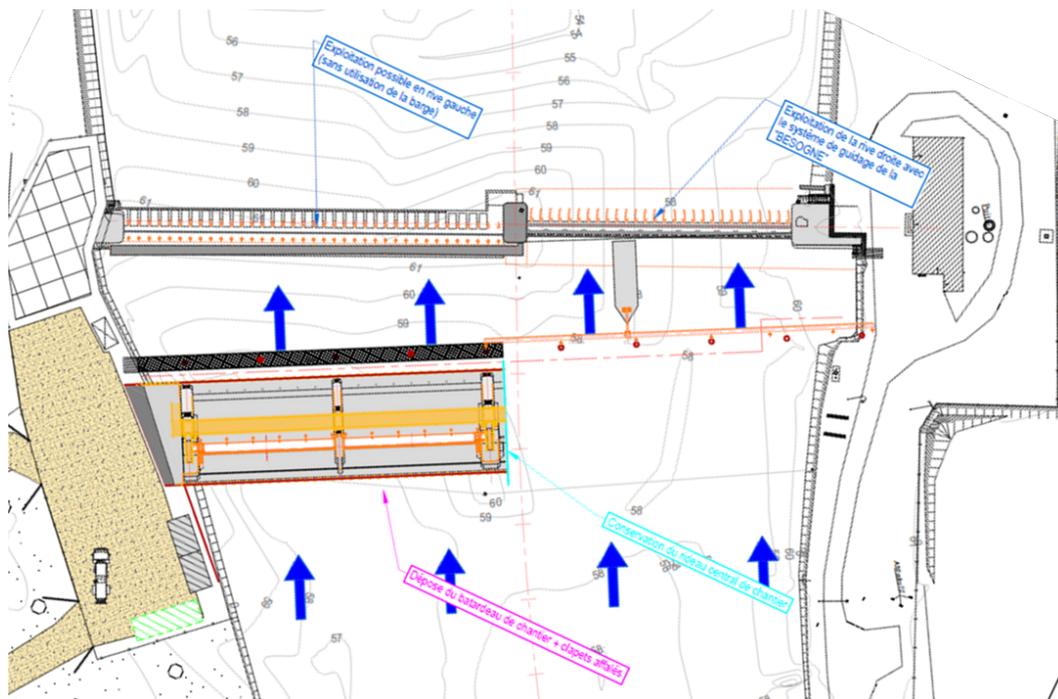


Figure 20: Passerelle d'accès et glissière pour l'exploitation du barrage existant supportés par 9 pieux en lit mineur pendant la phase travaux (phase 2-3)

### 6.3.2. Incidence hydraulique des pieux

Il peut être noté que la moitié des pieux sera située dans l'ombre hydraulique du batardeau de chantier. Ainsi en phase travaux, l'incidence hydraulique sera essentiellement produite par la présence du batardeau de chantier et la présence des pieux situés en aval du batardeau de chantier n'apportera aucune incidence hydraulique supplémentaire.

La DRIEAT a établi une fiche thématique intitulée « Aménagements impactant le libre écoulement des eaux » (octobre 2010). Pour les ducs d'Albe (auquel peuvent être assimilés les pieux), cette fiche thématique indique qu'à partir d'une distance entre ducs d'Albe inférieure à 8 m, l'espace entre ces obstacles doit être considéré comme potentiellement complètement obstrué par des embâcles, ce qui conduit à augmenter leur incidence hydraulique.

Dans le cas présent, la largeur du lit mineur de la Seine au droit du site de travaux est de l'ordre de 100 m. L'inter-distance des pieux est donc d'environ 10 m, soit nettement supérieure à la distance limite de 8 m citée dans la fiche thématique. Il est ainsi admis qu'en cas de crue pendant la phase de travaux, le charriage de flottants ne provoquera pas d'embâcles par blocage des flottants entre les pieux. Par ailleurs, les pieux étant tous circulaires, cette géométrie n'est pas favorable à la création d'embâcle, les éléments charriés en crue pourront glisser sur chacun des pieux.

Ainsi, l'incidence hydraulique des pieux qui supporteront la passerelle d'accès et la glissière peut être considérée comme négligeable. L'incidence hydraulique principale en phase chantier sera produite par la présence du batardeau de chantier (cf. § précédent). Pour cette même raison, ces pieux n'ont pas été intégrés dans le modèle hydraulique.

## 6.4. DEFINITION DE LA PERIODE DE CHANTIER : RECALCUL DES COURBES DE DEBITS CLASSES

L'établissement de la période de chantier nécessite la connaissance de la répartition des débits au sein d'une saison hydrologique. Celle-ci est établie à l'aide des courbes de débits classés mensuels qui sont calculées au droit du barrage de Beaulieu à partir des séries hydrométriques de la station de Pont-sur-Seine fournies par la banque HYDRO. La

grandeur utilisée pour établir ces courbes est intitulée « Débit instantané maximal 1 journalier-QIX1J » et a été extraite sur la période 01/01/1983-31/12/2021.

Les courbes de débits classés ont été calculées en fréquence observée de dépassement (cf. Figure 13).

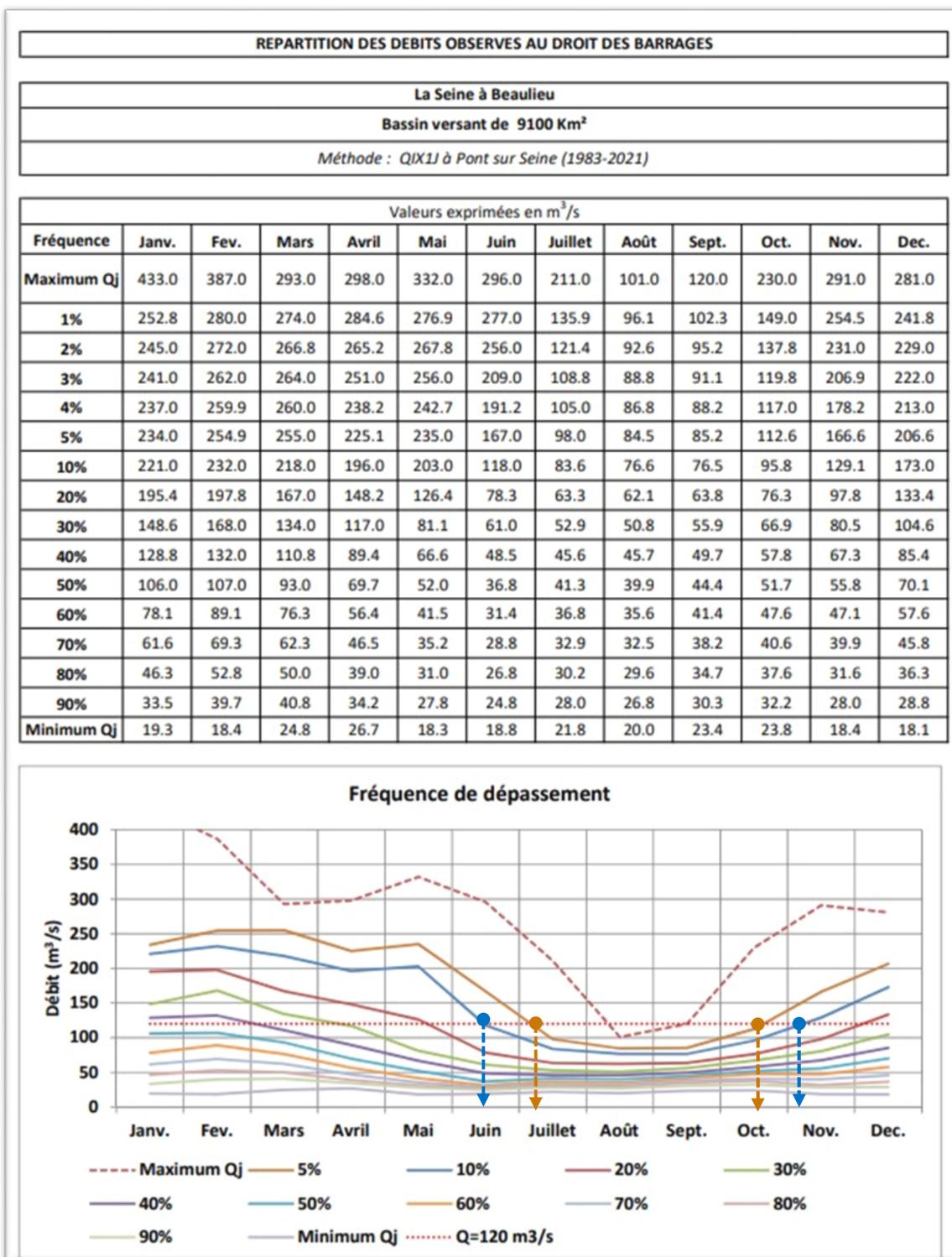


Figure 21: Fréquence de dépassement du débit  $Q=120 \text{ m}^3/\text{s}$  selon les mois de l'année

A minima, la période de travaux doit avoir lieu lorsque le débit est inférieur au débit de chantier ( $Q=115 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

À partir de la courbe de débits classés en fréquence de dépassement, la période de chantier correspondant à un risque de dépassement de 5% a été déterminée (courbe orange). La période de chantier s'étend depuis début juillet à mi-octobre, soit un peu moins de 3,5 mois de travaux.

Le risque de dépassement de 5% correspond sur un mois de 30 jours, à un dépassement du débit de chantier pendant 1,5 jour (dépassement observé expérimentalement sur la chronique des débits utilisés).

Similairement, la période de chantier correspondant à un risque de dépassement de 10% (courbe bleue) s'étend depuis mi-juin à début novembre, soit plus de 4,5 mois de travaux.

Le risque de dépassement de 10% correspond sur un mois de 30 jours, à un dépassement du débit de chantier pendant 3 jours.

À noter que le risque de dépassement qui devra être pris en compte pour la définition de la période de travaux devra tenir compte des enjeux engagés pendant la phase travaux (enjeux humains, matériels, de désordres sur ouvrage, etc.). Un risque de dépassement compris entre 5% et 10% est acceptable pour des travaux courants. Il sera toutefois possible d'intervenir en dehors de cette plage (risque supérieur à 10%) pour les travaux en lit majeur et/ou pour les travaux qui présentent une sensibilité moindre vis-à-vis des crues (travaux ne nécessitant pas de batardeau de chantier notamment).

On observera sur la Figure 22 les fréquences de dépassement en pourcentage de temps et en nombre de jours sur un mois pour différents événements pouvant se produire sur chantier. Selon les mois de l'année et le débit de l'évènement de chantier, le nombre de jours par mois où l'évènement se produit varie. Par exemple, pour un débit de 124 m<sup>3</sup>/s associé à l'enlèvement du batardeau de chantier le nombre de jours où l'évènement est susceptible de se produire est de 10,6 jours par mois pour le mois de mars contre 2,8 jours pour le mois de juin.

## 6.5. AJUSTEMENT DES CONDITIONS DE DEBATARDAGE EN PHASE CHANTIER

Lors de la phase travaux, le batardeau de chantier occupe plus de la moitié du lit mineur. Lors de fortes crues, il est nécessaire de pouvoir débatarder le lit mineur de la Seine afin d'éviter un rehaussement de la ligne d'eau en amont du chantier qui pourrait devenir préjudiciable aux enjeux identifiés. Les conditions de débatardage (seuils de niveaux d'eau au droit du chantier) doivent être définies pour assurer une incidence maîtrisée en période de crue.

Les études de conception ont permis de déterminer que l'enceinte batardée nécessaire pour la réalisation des travaux du barrage de Beaulieu est composée de deux sections de 50 m perpendiculaires à l'écoulement et d'une section longitudinale d'environ 20 m. Les deux sections de batardeau perpendiculaires à l'écoulement correspondent à un linéaire de 100 m et constituent l'obstacle à l'écoulement des crues le plus important. Par conséquent, elles doivent être retirées avant l'occurrence de ces crues. Une durée de 48 heures est nécessaire pour le débatardage de ces sections de batardeau.

Pour s'assurer que le débatardage soit possible pour l'ensemble des crues pouvant survenir en phase chantier, une analyse des hydrogrammes de crues entre 1983 et 2021 a été réalisée. Cette analyse a permis d'identifier une dizaine de crues survenant entre les mois de mai et de novembre et pour lesquelles la montée de crue est rapide. Parmi les crues sélectionnées, la crue de mai 1985 se présente comme la plus défavorable pour la période de chantier avec une augmentation de près de 100 m<sup>3</sup>/s sur une durée de 5 jours. L'hydrogramme de la crue de mai 1985 est représenté ci-dessous :

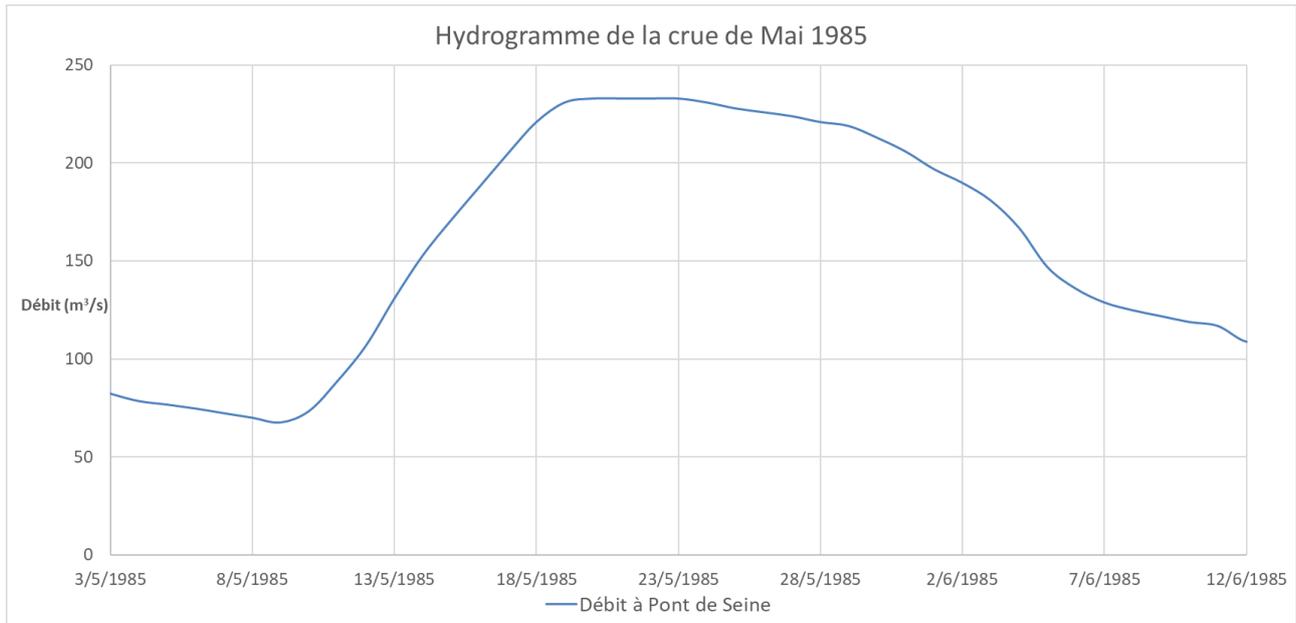
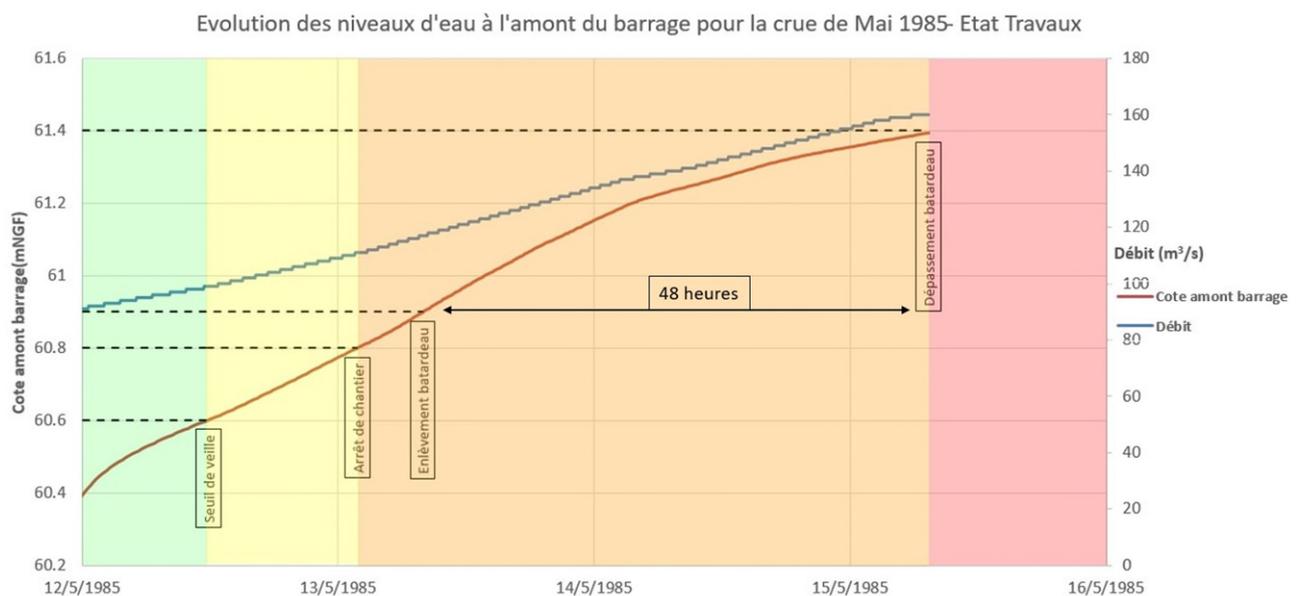


Figure 22: Hydrogramme de la crue de mai 1985 à Pont-sur-Seine (Hydroportail)

Le passage d'un débit de 115 m<sup>3</sup>/s à un débit de 159 m<sup>3</sup>/s est le plus rapide pour la crue de mai 1985.

Pour définir les cotes conduisant au débatardage, l'hydrogramme de la crue de mai 1985 est injecté en entrée du modèle en phase travaux la plus pénalisante. L'extraction du limnigramme en amont du batardeau permet d'établir le niveau d'eau permettant de disposer de période de 48 heures comptée entre l'enlèvement du batardeau et sa submersion. On représente ci-dessous l'évolution des niveaux d'eau et des débits en fonction du temps dans la configuration de la phase chantier.



Le niveau d'eau obtenu à l'amont du batardeau qui permet une durée de débatardage de 48 heures est de 60,90 m NGF. Pour pouvoir débuter le processus de débatardage en temps voulu, l'arrêt de chantier et la mobilisation des équipes s'effectuera dès la cote de 60,80 m NGF. Enfin, dès 60,60 m NGF, des mesures de niveaux d'eau plus fréquentes devront être réalisées et une connaissance des prévisions de crues sera nécessaire.

Ainsi les délais disponibles pour les interventions (mise en sécurité, évacuation du chantier...) entre les différents seuils, mesurés à partir de la crue de mai 1985 sont les suivants :

- Du seuil de veille (60,60 m NGF) à l'arrêt de chantier (60,80 m NGF) : 14 h
- De l'arrêt de chantier (60,80 m NGF) à l'enlèvement du batardeau (60,90 m NGF) : 6 h
- De l'enlèvement du batardeau (60,90 m NGF) au dépassement du batardeau (61,40 m NGF) : 48 h

Le tableau récapitulatif des cotes définies pour les procédures de débatardage est présenté ci-dessous.

**Tableau 8 : Procédure de débatardage en fonction de la cote à l'amont du barrage de Beaulieu**

Barrage de Beaulieu		Phase travaux		
Z aval (IGN 69)	Z amont (IGN 69)		Delta (cm)	Débit (m3/s)
61.32	61.60		28	218
61.14	61.50		10	183
60.96	61.40	Dépassement batardeau chantier	0	159
60.55	60.90	Enlèvement batardeau chantier, puis repli	-50	115
60.47	60.80	Arrêt chantier et mobilisation pour enlèvement	-60	109
60.31	60.60	Seuil de veille	-80	97
60.22	60.50		-90	92

Les courbes de débit classés permettent d'estimer la fréquence de dépassement des débits associés à chaque seuil en pourcentage de temps par mois et en nombre de jours par mois selon le mois de travaux. Ces données sont représentées sur la page suivante.

**Barrage de Beaulieu**  
Phase travaux

Z aval (IGN 69)	Z amont (IGN 69)		Delta (cm)	Débit (m3/s)
61.32	61.60		28	218
61.14	61.50		10	183
60.96	61.40	Dépassement batardeau chantier	0	159
60.55	60.90	Enlèvement batardeau chantier, puis repli	-50	115
60.47	60.80	Arrêt chantier et mobilisation pour enlèvement	-60	109
60.31	60.60	Seuil de veille	-80	97
60.22	60.50		-90	92

Fréquence observée de dépassement (en % du temps)									
Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	
10.0%	6.2%	7.6%	2.8%	~0%	~0%	~0%	0.1%	2.5%	
16.9%	12.8%	12.7%	4.4%	0.4%	~0%	~0%	0.6%	3.8%	
22.3%	17.7%	15.7%	5.8%	0.7%	~0%	~0%	0.9%	6.0%	
38.4%	30.9%	22.6%	10.9%	2.5%	~0%	0.3%	4.6%	14.7%	
41.3%	33.1%	23.9%	12.4%	3.1%	~0%	0.6%	6.2%	16.6%	
47.7%	37.2%	26.5%	15.3%	5.3%	0.8%	1.7%	9.6%	20.4%	
50.8%	39.2%	27.7%	16.7%	7.2%	2.3%	2.9%	12.2%	23.6%	
Classes									
>90%									
10%	90%								
5%	10%								
1%	5%								
0%	1%								
~0%									

Evènement très fréquent
Evènement assez fréquent
Evènement peu fréquent
Evènement rare
Evènement très rare
Evènement extrêmement rare

Fréquence observée de dépassement (nb jours/ mois)									
Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	
3.1	1.9	2.4	0.8	~0	~0	~0	0.0	0.8	
5.3	3.8	3.9	1.3	0.1	~0	~0	0.2	1.2	
6.9	5.3	4.9	1.7	0.2	~0	~0	0.3	1.8	
11.9	9.3	7.0	3.3	0.8	~0	0.1	1.4	4.4	
12.8	9.9	7.4	3.7	0.9	~0	0.2	1.9	5.0	
14.8	11.2	8.2	4.6	1.6	0.2	0.5	3.0	6.1	
15.8	11.8	8.6	5.0	2.2	0.7	0.9	3.8	7.1	
Classes									
>27									
3.0	27.0								
1.5	3.0								
0.3	1.5								
0.0	0.3								
~0									

Evènement très fréquent
Evènement assez fréquent
Evènement peu fréquent
Evènement rare
Evènement très rare
Evènement extrêmement rare

Figure 23 :Fréquence de dépassement des débits en pourcentage et en jour par mois

## 6.6. CONVERSION DES SEUILS DE VEILLE ET DE DEBATARDAGE A PONT-SUR-SEINE

### 6.6.1. Répartition des débits entre Pont-sur-Seine et Beaulieu

Les résultats des modélisations de SAFEGE ont été transmis par VNF pour des débits à Pont-sur-Seine allant de 25 m<sup>3</sup>/s à 463 m<sup>3</sup>/s. On représente sur le graphe suivant la valeur des débits à Beaulieu en fonction du débit à Pont-sur-Seine. La corrélation entre ces débits est approchée par deux droites affines.

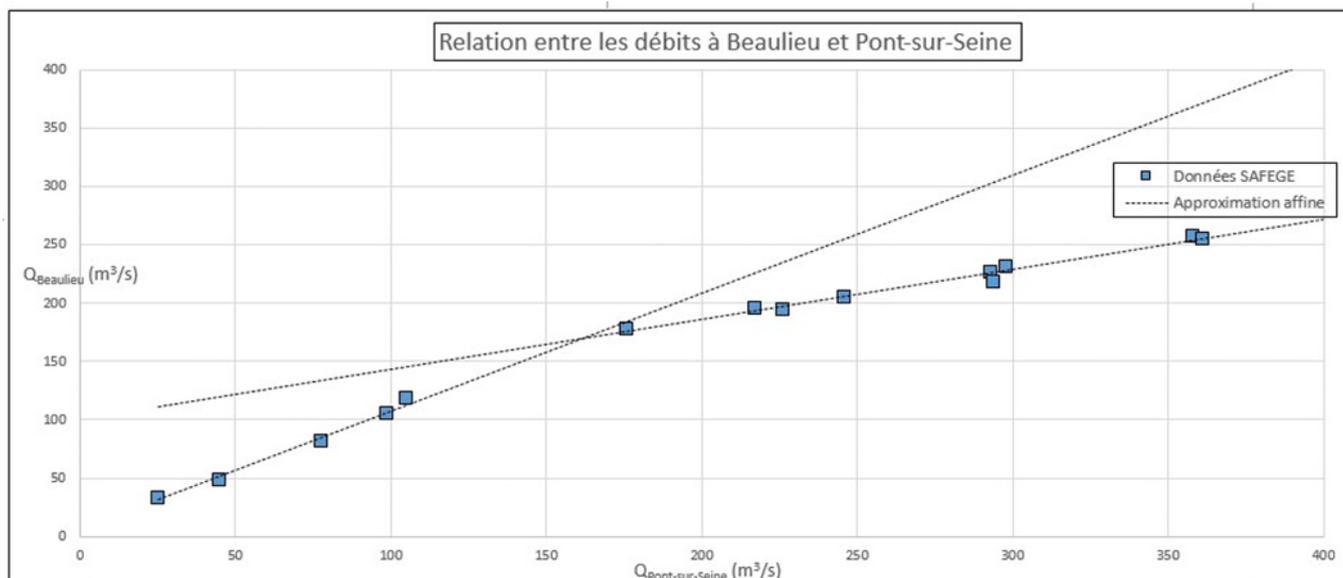


Figure 24: Relation entre les débits transitant par le barrage de Beaulieu et la station de Pont-sur-Seine

Les débits à Beaulieu sont estimés à partir des débits à Pont-sur-Seine par les équations suivantes :

- Pour  $Q < 157 \text{ m}^3/\text{s}$  :  $Q_{\text{Beaulieu}} = 1.02 * Q_{\text{Pont-sur-Seine}} + 7$
- Pour  $Q > 157 \text{ m}^3/\text{s}$  :  $Q_{\text{Beaulieu}} = 0.43 * Q_{\text{Pont-sur-Seine}} + 100$

Remarque : Ces droites affines ne permettent d'estimer les débits à Beaulieu que des débits compris entre 25 et 361 m<sup>3</sup>/s à Pont-sur-Seine, elles ne peuvent être appliquées pour des débits plus importants par manque de données.

### 6.6.2. Conversion des seuils de débatardage à l'échelle de Pont-sur-Seine

VNF a transmis à ARTELIA les données de la loi hauteur/débit à la station de Pont-sur-Seine. A partir des seuils de la procédure de débatardage à Beaulieu (cf. Tableau 8) et des résultats ci-dessus, on obtient des seuils de veille et de débatardage à l'échelle de Pont-sur-Seine :

Tableau 9: Procédure de débatardage à la station de Pont-sur-Seine par interpolation

Barrage de Beaulieu				Pont-sur-Seine		
Z aval (IGN 69) Barrage de Beaulieu	Z amont (IGN 69)		Delta (cm) $Z_{\text{amont}} - Z_{\text{batardeau}}$	Débit (m <sup>3</sup> /s) à Beaulieu	Débit estimé à Pont-sur-Seine	Hauteur estimée à Pont-sur-Seine (Loi Z/Q Station)
61.32	61.60		20	218	274.84	63.77
61.14	61.50		10	183	192.11	60.14
60.96	61.40	Dépassement batardeau chantier	0	159	150.78	57.83
60.55	60.90	Enlèvement batardeau chantier, puis repli	-50	115	106.45	52.62
60.47	60.80	Arrêt chantier et mobilisation pour enlèvement	-60	109	100.54	51.90
60.31	60.60	Seuil de veille	-80	97	89.21	49.39
60.22	60.50		-90	92	83.76	48.48

La conversion des seuils de procédure de débatardage de Beaulieu à Pont-sur-Seine permettra d'anticiper plus facilement un enlèvement du batardeau de chantier et diminuer le rehaussement de la ligne d'eau lors de la montée de crue.



# ANNEXE 1

## SOMMAIRE DES ETUDES PRELIMINAIRES

# SOMMAIRE

<b>1.</b>	<b>SYNTHESE ET CONCLUSION</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>CRITERES DE PROJET</b>	<b>3</b>
<b>2.1.</b>	<b>DESCRIPTION GENERALE DU BARRAGE ACTUEL</b>	<b>3</b>
2.1.1.	JUSTIFICATION	3
2.1.2.	PRINCIPALES CARACTERISTIQUES	3
2.1.2.1.	CARACTERISTIQUES HYDRAULIQUES	3
2.1.2.2.	PASSE NAVIGABLE (RIVE DROITE)	3
2.1.3.	HISTORIQUE DU BARRAGE ACTUEL	4
2.1.4.	DESCRIPTION DETAILLEE	4
2.1.4.1.	GENIE CIVIL	4
2.1.4.2.	PASSE NAVIGABLE (RIVE DROITE)	5
2.1.4.3.	PASSE DEVERSOIR (RIVE GAUCHE)	6
2.1.4.4.	EQUIPEMENT ELECTRIQUE	7
2.1.4.5.	LIGNES DE VIE	7
2.1.4.6.	CABLE PARE BATEAU	7
2.1.5.	Accès au site du barrage	7
2.1.5.1.	ACCES TERRESTRE DEPUIS LA RIVE GAUCHE	7
2.1.5.2.	ACCES TERRESTRE DEPUIS LA RIVE DROITE	8
2.1.5.3.	ACCES PAR LA VOIE NAVIGABLE	8
<b>2.2.</b>	<b>CONDITIONS PHYSIQUES DU SITE</b>	<b>8</b>
2.2.1.	Référentiel altimétrique	8
2.2.2.	Géographiques	8
2.2.2.1.	CONFIGURATION GENERALE	8
2.2.2.2.	PARCELLAIRE	8
2.2.2.3.	TOPOGRAPHIE GENERALE DU SITE	8
2.2.3.	Climatiques	9
<b>2.3.</b>	<b>HYDROLOGIE</b>	<b>9</b>
2.3.1.	Présentation du Bassin Versant	9
2.3.1.1.	STATIONS HYDROMETRIQUES EXISTANTES	9
2.3.1.2.	NIVEAUX D'EAUX	10
2.3.2.	Analyse des données hydrologiques	11
2.3.2.1.	DEBITS COURANTS ET DEBITS DE CRUES	11
2.3.2.2.	DEBITS DE BASSES EAUX	12
2.3.2.3.	DEBITS JOURNALIERS ET DEBITS INSTANTANES	12
2.3.2.4.	STATION HYDROMETRIQUE RETENUE	13
2.3.2.5.	NIVEAUX DES HAUTES EAUX RETENUS	13
2.3.2.6.	COURBE DES DEBITS CLASSES UTILISES POUR LA PASSE A POISSONS	14
<b>2.4.</b>	<b>CONTEXTE GEOTECHNIQUE ET GEOLOGIQUE</b>	<b>15</b>
2.4.1.	Documents de référence	15
2.4.2.	Géologie générale	15
2.4.3.	Lithologie au droit du barrage existant	16
2.4.3.1.	CAMPAGNE DE RECONNAISSANCES REALISEES EN 2008	16
2.4.3.2.	GEOLOGIE RELEVÉE PAR SONDAGES	17
2.4.3.3.	PROPRIETES MECANIQUES DES SOLS	19
2.4.4.	Hypothèses géomécaniques	20
2.4.5.	Hydrogéologie	20
2.4.6.	Reconnaitances géotechniques complémentaires à effectuer	21
<b>2.5.</b>	<b>ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX</b>	<b>21</b>
2.5.1.	Contexte général	21
2.5.2.	Contexte local	21
<b>2.6.</b>	<b>ENJEUX PISCICOLES</b>	<b>24</b>
2.6.1.	Espèces holobiotiques (vivant exclusivement en eaux douces)	24
2.6.2.	Espèces amphibiotiques (vivant alternativement en eau douce et en eau salée)	27
2.6.2.1.	ANGUILLE	27
2.6.2.2.	AUTRES ESPECES	27
2.6.3.	Aspect réglementaire	27
<b>2.7.</b>	<b>ENJEUX ARCHITECTURAUX</b>	<b>28</b>
<b>2.8.</b>	<b>PRINCIPAUX ENJEUX DU PROGRAMME (RAPPELS DU CAHIERS DES CHARGES)</b>	<b>28</b>

2.8.1.	<b>Fonctionnalités du barrage projeté</b>	28
2.8.1.1.	MAINTIEN DES PLANS D'EAU	28
2.8.1.2.	LIGNES D'EAU	28
2.8.1.3.	NAVIGATION	29
2.8.2.	<b>Corps flottants et embâcles</b>	29
2.8.3.	<b>Chocs de bateaux</b>	29
2.8.4.	<b>Sismicité du site</b>	29
2.8.5.	<b>Exploitation du nouveau barrage</b>	29
2.8.6.	<b>Maintenance</b>	29
<b>3.</b>	<b>ORIENTATIONS TECHNIQUES DU PROJET</b>	<b>31</b>
3.1.	<b>METHODOLOGIE</b>	31
3.2.	<b>CALCULS HYDRAULIQUES ET INTERPRETATIONS DES IMPACTS</b>	31
3.2.1.	<b>Préambule au modèle hydraulique</b>	31
3.2.2.	<b>Présentation du linéaire modélisé</b>	32
3.2.3.	<b>Exploitation du modèle</b>	33
3.2.3.1.	ETAT ACTUEL	33
3.2.3.2.	DEFINITION DES PRINCIPES GEOMETRIQUES ENVISAGEABLES	34
3.3.	<b>HYDROLOGIE MENSUELLE DE LA RIVIERE / APPROCHE DE LA PERIODE DE TRAVAUX</b>	37
3.4.	<b>ANALYSE DES CONTRAINTES PHYSIQUES</b>	38
3.4.1.	<b>Implantation du barrage reconstruit</b>	38
3.4.1.1.	A L'AVAL	38
3.4.1.2.	A L'AMONT	38
3.4.1.3.	SUR L'EMPRISE ACTUELLE	39
3.4.2.	<b>Géotechnique</b>	39
3.4.2.1.	FONDATION DU BARRAGE	39
3.4.2.2.	BATARDEAU DE CHANTIER	40
3.4.3.	<b>Environnement – Emprise foncière</b>	40
3.4.4.	<b>Accès – emprises foncières</b>	41
3.5.1.	<b>Généralités sur les bouchures existantes sur la Seine amont</b>	41
3.5.2.	<b>Types de bouchure non retenus dans le cadre de l'étude</b>	42
3.5.3.	<b>Définition des principes de bouchures retenus</b>	44
3.5.3.1.	SOLUTION VANNES CLAPETS	44
3.5.3.2.	SOLUTION PAR BGVM (BARRAGE GONFLABLE A VOILETS METALLIQUES)	46
3.6.	<b>CHOIX DES ORGANES DE MANŒUVRE DES BOUCHURES</b>	47
3.6.1.	<b>Types d'organes de manœuvre envisageables</b>	47
3.6.2.	<b>Choix entre vérin hydraulique et treuil à chaîne</b>	49
3.6.2.1.	GENERALITES	49
3.6.2.2.	MAINTIEN DU PLAN D'EAU EN CAS DE DYSFONCTIONNEMENT DE L'ORGANE DE MANŒUVRE	50
3.6.2.3.	FACILITES D'ACCES	50
3.6.3.	<b>Principe de manœuvre retenu</b>	51
3.7.	<b>BALAYAGE DES SOLUTIONS DE BATARDAGE DE MAINTENANCE</b>	53
3.7.1.1.	BATARDEAU A AIGUILLES	53
3.7.1.2.	BATARDEAU DE MAINTENANCE POUR VANNES PRESQUE TOTALEMENT IMMERGEES	54
3.7.1.3.	BATARDEAU DE MAINTENANCE POUR FAIBLE PROFONDEUR	54
3.7.1.4.	DEFINITION DES PRINCIPES DE BATARDAGE DE MAINTENANCE RETENUS	55
3.8.	<b>CHOIX DU TYPE DE FRANCHISSEMENT PISCICOLE</b>	57
3.8.1.	<b>Montaison</b>	57
3.8.2.	<b>Avalaison</b>	57
3.8.3.	<b>Hydraulique</b>	57
3.8.4.	<b>Approche environnementale</b>	58
3.8.5.	<b>Définition des principes de franchissement piscicole</b>	59
3.8.1.	<b>Comparaison technique des deux solutions de franchissement piscicole</b>	59
3.9.	<b>DEFINITION DES SOLUTIONS DE DEFENSE PARE-BATEAUX</b>	60
3.9.1.1.	CABLE DE GARDE A VERIN	60
3.9.1.2.	SYSTEME NAVISTOP2	61
3.9.1.3.	PRINCIPE PARE-BATEAUX RETENU	61
3.10.	<b>CHOIX DU FRANCHISSEMENT PIETON</b>	62
3.11.	<b>CHOIX D'UNE SOLUTION POUR LE FRANCHISSEMENT DES CANOËS</b>	62
3.12.	<b>BILAN DE L'ANALYSE, DEFINITION DE L'AMENAGEMENT TEMOIN</b>	62

<b>4.</b>	<b>PROPOSITIONS TECHNIQUES D'AMENAGEMENT</b>	<b>64</b>
4.2.	JUSTIFICATION GEOMETRIQUES PREALABLES DES BARRAGES	65
4.2.1.	Géométrie générale du barrage BGVM	65
4.2.2.	Géométrie générale du barrage Clapet	65
4.2.3.	Radier et Fondation	65
4.2.4.	Bassin de dissipation des ouvrages	67
4.3.	DESCRIPTION DES SOLUTIONS PROPOSEES A L'ETUDE PRELIMINAIRE	69
4.3.1.	Reconstruction à l'amont	69
4.3.1.1.	IMPLANTATION DE L'OUVRAGE	69
4.3.1.2.	GEOMETRIE GENERALE DE L'OUVRAGE	69
4.3.1.3.	GEOMETRIE DU BARRAGE BGVM	69
4.3.1.4.	GEOMETRIE DU BARRAGE CLAPET	70
4.3.1.5.	DESCRIPTION SOMMAIRE DES TRAVAUX	71
4.3.1.6.	APPROCHE DE L'IMPACT HYDRAULIQUE DES BATARDEAUX DE CHANTIER	71
4.3.2.	Reconstruction sur l'emprise actuelle	74
4.3.2.1.	IMPLANTATION	74
4.3.2.2.	GEOMETRIE GENERALE DE L'OUVRAGE	74
4.3.2.3.	GEOMETRIE GENERALE DE L'OUVRAGE BGVM	75
4.3.2.4.	GEOMETRIE GENERALE DE L'OUVRAGE CLAPET	76
4.3.2.5.	DESCRIPTION SOMMAIRE DES TRAVAUX	76
4.3.3.	Impact hydraulique du projet en phase construction	77
4.3.3.1.	PREAMBULE L'IMPACT EN PHASE CONSTRUCTION DU PROJET	77
4.3.3.2.	ESTIMATION DE L'IMPACT EN PHASE CONSTRUCTION	77
4.4.	DESCRIPTIONS DES SCENARIOS DE « FRANCHISSEMENT PISCICOLE »	78
4.4.1.	Implantation	78
4.4.2.	Passe à bassins successifs	78
4.4.2.1.	CARACTERISTIQUES GENERALES	78
4.4.2.2.	MISE EN OEUVRE	80
4.4.3.	Rampe à macro-rugosités	81
4.4.3.1.	CARACTERISTIQUES GENERALES	81
4.4.3.2.	MISE EN OEUVRE	82
4.4.4.	Génie civil des passes à poissons	83
4.5.	DEFINITION DES SCENARIOS PASSERELLES	83
4.5.1.	Implantations par rapport à l'axe existant	83
4.5.2.	La passerelle entre les deux rives	84
4.5.3.	BGVM et clapets	84
4.5.4.	Conception architecturale et paysagère de la passerelle	84
4.5.4.1.	BARRAGE A CLAPETS	84
4.5.4.2.	BARRAGE BGVM	85
4.5.4.3.	BGVM AU DROIT DE L'AXE DU BARRAGE EXISTANT	86
4.6.	DEFINITION ET EVALUATION DES COUTS DE CONSTRUCTION	86
4.6.1.	GENERALITES	86
4.6.2.	Estimation DU PROGRAMME	87
4.6.3.	Estimation études préliminaires	87
4.6.3.1.	ESTIMATIONS DES COUTS DE TRAVAUX DANS LE CADRE D'UNE RECONSTRUCTION DU BARRAGE A L'AMONT	88
4.6.3.2.	ESTIMATIONS DES COUTS DE TRAVAUX DANS LE CADRE D'UNE RECONSTRUCTION DU BARRAGE SUR L'EMPRISE ACTUELLE	89
4.6.3.3.	COMPARATIF FINANCIER DES SCENARIOS D'IMPLANTATION	90
<b>ANNEXE 1</b>	<b>Présentation du modèle de calcul hydraulique</b>	<b>91</b>
<b>1.</b>	<b>LOGICIEL DE MODELISATION</b>	<b>92</b>
<b>2.</b>	<b>CONSTRUCTION DU MODELE</b>	<b>92</b>
2.1.	COMPLEMENT DE PROFIL EN TRAVERS	94
2.2.	PROFIL EN LONG DU LINEAIRE D'ETUDE	94
<b>3.</b>	<b>CALAGE ET VALIDATION DU MODELE</b>	<b>94</b>
3.1.	PRINCIPE	94
3.2.	CALAGE	95
3.3.	VALIDATION	96

3.4. INFLUENCE DE LA CONDITION AVAL	98
-------------------------------------	----

## **ANNEXE 2 Pré-dimensionnement des ouvrages de franchissement piscicole** 100

### **1. PASSES A BASSINS** 101

1.1. DESCRIPTIF DU DISPOSITIF	101
1.1.1. Cloisons et bassins courant	101
1.1.2. Entrée de la passe	102
1.2. SIMULATIONS DE FONCTIONNEMENT	103
1.2.1. Méthodologie	103
1.2.2. Résultats	104
1.2.3. Conclusions	107

### **2. RAMPE A MACRO-RUGOSITES** 108

2.1. DESCRIPTIF DU DISPOSITIF	108
2.1.1. Caractéristiques de la rampe	108
2.1.2. Entrée de la passe	111
2.1.3. Sortie de la passe	111
2.1.4. Bassin de repos	111
2.2. SIMULATIONS DE FONCTIONNEMENT	111
2.2.1. Méthodologie	111
2.2.2. Plage de fonctionnement et tirant d'eau	111
2.2.3. Débit	112
2.2.4. Vitesses	112
2.2.5. Puissance dissipée volumique	113
2.2.6. Conclusions	114

## **ANNEXE 3 Cahier de plans et photomontage** 115

## **TABLEAUX**

TABL. 1 - CARACTERISTIQUES DES STATIONS HYDROMETRIQUES DE LA SEINE A PONT-SUR-SEINE ET A BAZOCHES-LES-BRAY	10
TABL. 2 - CARACTERISTIQUES DES STATIONS HYDROMETRIQUES DE L'ARDUSSON ET DE LA VOULZIE	10
TABL. 3 - DEBITS CARACTERISTIQUES DE CRUES DE LA SEINE A PONT-SUR-SEINE ET A BAZOCHES-LES-BRAY	11
TABL. 4 - DEBITS CARACTERISTIQUES DE BASSES EAUX DE LA SEINE A PONT-SUR-SEINE ET A BAZOCHES-LES-BRAY	12
TABL. 5 - COEFFICIENT DE POINTE DE LA SEINE A PONT-SUR-SEINE ET BAZOCHES-LES-BRAY	13
TABL. 6 - NIVEAUX D'EAU A L'ECLUSE ET AU BARRAGE DE BEAULIEU ET DEBITS JOURNALIERS ASSOCIES	14
TABL. 7 - SYNTHESE GEOTECHNIQUE DANS L'ENVIRONNEMENT DU BARRAGE DE BEAULIEU	20
TABL. 8 - ESPECES HOLOBIOTIQUES ET TYPES DE MILIEUX	25
TABL. 9 - ESPECES REPERES SUIVANT NIVEAUX TYPOLOGIQUES	26
TABL. 10 - GEOMETRIES DE BARRAGE POSSIBLES POUR UN IMPACT NUL SUR LA LIGNE D'EAU	36
TABL. 11 - VALEURS CARACTERISTIQUES DES DEBITS CLASSES MENSUELS A PONT-SUR-SEINE ENTRE 1984 ET 2010	38
TABL. 12 - CARACTERISTIQUES GENERALES DES BARRAGES DE LA SEINE	41
TABL. 13 - DEFINITION DE L'AMENAGEMENT TEMOIN	63
TABL. 14 - ESTIMATION DU DEBIT DE DEBOREMENT EN PHASE TRAVAUX POUR LE PROJET AMONT	73
TABL. 15 - ESTIMATION DU DEBIT DE DEBOREMENT EN PHASE TRAVAUX POUR LE PROJET SUR L'EXISTANT	78
TABL. 16 - COUTS DES TRAVAUX DU BARRAGE ET DU FRANCHISSEMENT PISCICOLE A L'AMONT	88
TABL. 17 - COUTS DES TRAVAUX DE LA PASSERELLE PUBLIQUE A L'AMONT	88
TABL. 18 - COUTS TOTAUX DES TRAVAUX DE BARRAGE, PASSE A POISSONS ET PASSERELLE PUBLIQUE A L'AMONT	89
TABL. 19 - COUTS DES TRAVAUX DU BARRAGE ET DU FRANCHISSEMENT PISCICOLE SUR L'EMPRISE ACTUELLE	89
TABL. 20 - COUTS DES TRAVAUX DE LA PASSERELLE PUBLIQUE DANS LE CAS D'UN BARRAGE SUR L'EMPRISE ACTUELLE	89
TABL. 21 - COUTS TOTAUX DES TRAVAUX DE BARRAGE, PASSE A POISSONS ET PASSERELLE PUBLIQUE DANS LE CAS D'UNE RECONSTRUCTION SUR L'EMPRISE ACTUELLE	90

**Reconstruction du Barrage de Beaulieu**

MISSION DE MAITRISE D'OEUVRE

**RAPPORT D'ETUDE PRELIMINAIRE**

---

TABL. 22 - REFERENCES DES PROFILS EN TRAVERS UTILISES POUR LE MODELE	92
TABL. 23 - INFLUENCE DE LA CONDITION AVAL SUR LA LIGNE D'EAU	99

## FIGURES

FIG. 1.	COUPE DE PRINCIPE SUR HAUSSE CHANOINE	5
FIG. 2.	COUPE DE PRINCIPE SUR HAUSSE PASQUEAU	6
FIG. 3.	EXTRAIT DE LA CARTE GEOLOGIQUE DE NANGIS (BRGM, ECHELLE 1/50000)	16
FIG. 4.	PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES SUR LE SITE DE BEAULIEU	17
FIG. 5.	PROFIL GEOLOGIQUE AMONT SP1 A SP4	18
FIG. 6.	PROFIL GEOLOGIQUE AVAL SP6 A SP9	19
FIG. 7.	CARTOGRAPHIE SYNTHETIQUE DES ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX	23
FIG. 8.	PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE ET DE SES ENJEUX	33
FIG. 9.	LOIS DE SEUILS AU DROIT DU BARRAGE	34
FIG. 10.	IMPACTS DES DIFFERENTES GEOMETRIES DE BARRAGES SUR LA LIGNE D'EAU	36
FIG. 11.	DEBITS MOYENS MENSUELS DE LA SEINE A PONT-SUR-SEINE ENTRE 1979 ET 2010	37
FIG. 12.	BARRAGE DE BAHNITZ EN ALLEMAGNE BGE	43
FIG. 13.	EXEMPLE DU BARRAGE DE LA CAVE – SEINE AMONT. BARRAGE A VANNES CLAPETS	45
FIG. 14.	EXEMPLE DU BARRAGE DE VILLERS-DEVANT-MOUZON SUR LA MEUSE. BGVM	46
FIG. 15.	EXEMPLE DE VERINS ELECTROMECANQUES	48
FIG. 16.	EXEMPLE DE CENTRALE HYDRAULIQUE PROJETEE	51
FIG. 17.	DEFINITION DU NOMBRE DE VERINS/DIMENSIONS CLAPETS (REF : DOSSIER TYPE CLAPET VNF)	52
FIG. 18.	EXEMPLE DE BATARDEAU A AIGUILLES POUR MAINTENANCE DE CLAPET – BARRAGE JOINVILLE	53
FIG. 19.	BARRAGE DE WADRINAU EN MOSELLE	54
FIG. 20.	EXEMPLE DE BATARDEAUX POUTRE A APPUIS INTERMEDIAIRES – BAHNITZ ALLEMAGNE	56
FIG. 21.	EXEMPLE EN COUPE ET VUE D'AMONT DU SYSTEME DE BATARDEAU AVAL	56
FIG. 22.	DISPOSITIF PARE-BATEAUX BARRAGE DE JAULNES	60
FIG. 23.	DISPOSITIF PARE-BATEAUX TYPE NAVISTOP2	61
FIG. 24.	SOLUTION DE RECONSTRUCTION AMONT AVEC BOUCHURES BGVM	70
FIG. 25.	SOLUTION DE RECONSTRUCTION AMONT AVEC BOUCHURES CLAPETS	71
FIG. 26.	IMPACT SUR LA LIGNE D'EAU EN PHASE TRAVAUX POUR LE PROJET A L'AMONT DU BARRAGE EXISTANT	73
FIG. 27.	SOLUTION DE RECONSTRUCTION SUR L'EMPRISE ACTUELLE AVEC BOUCHURES BGVM	75
FIG. 28.	IMPACT SUR LA LIGNE D'EAU EN PHASE TRAVAUX POUR LE PROJET AU DROIT DE L'EXISTANT	77
FIG. 29.	PASSE A DEUX FENTES VERTICALES.	79
FIG. 30.	COUPE DE PRINCIPE D'UNE PASSE A B ASSINS	80
FIG. 31.	RAMPE A MACRO-RUGOSITES (RMR), BLOCS BETON REGULIEREMENT REPARTIS	82
FIG. 32.	COUPE DE PRINCIPE D'UNE RAMPE A MACRO-RUGOSITES	83
FIG. 33.	LOCALISATION DES PROFILS EN TRAVERS DU MODELE	93
FIG. 34.	PROFIL EN TRAVERS DU BARRAGE AMONT SOUS HEC-RAS	93
FIG. 35.	PROFIL EN LONG DE LA SEINE ENTRE L'AVAL DE LA BOUCLE DE NOGENT ET L'AMONT DU PONT DE COURCEROY	94
FIG. 36.	LIGNE D'EAU OBTENUE LORS DU CALAGE DU MODELE AVEC LES NIVEAUX D'EAU SOGREAH 1983 (160 M <sup>3</sup> /S)	95
FIG. 37.	DEUX LIGNES D'EAU OBTENUES LORS DE LA VALIDATION DU MODELE AVEC LES NIVEAUX D'EAU DES ECLUSIERS (133 M <sup>3</sup> /S ET 150 M <sup>3</sup> /S)	97
FIG. 38.	LIGNE D'EAU OBTENUE LORS DE LA VALIDATION DU MODELE AVEC LES NIVEAUX D'EAU DE L'ETUDE SOGREAH 1983 (100 M <sup>3</sup> /S)	98
FIG. 39.	INFLUENCE DE LA CONDITION AVAL SUR LA LIGNE D'EAU	99
FIG. 40.	RMR, SCHEMA DE PRINCIPE ET NOTATIONS (D'APRES LARINIER ET AL., 2006).	109
FIG. 41.	RMR- COURBE Q = F(HAMONT)	112
FIG. 42.	RMR – VITESSE DEBITANTE MOYENNE DEBITANTE EN FONCTION DE LA COTE AMONT	113
FIG. 43.	RMR – VITESSE DEBITANTE MAXIMALE DEBITANTE EN FONCTION DE LA COTE AMONT	113
FIG. 44.	RMR – PUISSANCE DISSIPEE EN FONCTION DE LA COTE AMONT	114



## ANNEXE 2

# RAPPORT EP- ANALYSE DE SENSIBILITE DE LA LOI Z/Q AVAL

## **ANNEXE 1**

# **Présentation du modèle de calcul hydraulique**

## 1. LOGICIEL DE MODELISATION

Afin de réaliser le pré-dimensionnement hydraulique du barrage, un modèle hydraulique unidimensionnel du lit mineur de la Seine a été exploité. Ce modèle a été réalisé à l'aide du logiciel *HEC-RAS*, développé par le corps des ingénieurs de l'US Army.

*HEC-RAS* est un logiciel de modélisation des écoulements à surface libre. Le cours d'eau y est représenté par une succession de profils en travers qui décrivent le lit mineur et le lit majeur si besoin. Les éléments singuliers que sont les ponts et les seuils sont pris en compte par le logiciel. La modélisation en lit mineur comprend :

- les écoulements en lit mineur (débits-hauteurs),
- les contraintes imposées par les ouvrages hydrauliques,
- les mises en charge au niveau des ouvrages.

Pour un débit donné, il permet d'extraire en tous points de la zone :

- les niveaux d'eau pour chaque profil en travers,
- le profil en long du lit mineur et la ligne d'eau représentés en regard des niveaux d'eau recueillis,
- le niveau d'eau au droit des ouvrages de franchissement,
- les vitesses moyennes d'écoulement pour plusieurs sections de chaque profil en travers.

## 2. CONSTRUCTION DU MODELE

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

Le modèle élaboré a été construit sur la base des levés bathymétriques fournis par VNF. 70 profils en travers de la Seine ont permis de représenter le lit mineur sur l'ensemble du linéaire d'étude avec une densification des profils aux alentours du barrage (cf. Fig. 33). Les références de ces profils en travers sont rappelées dans le Tabl. 22 - ci-dessous.

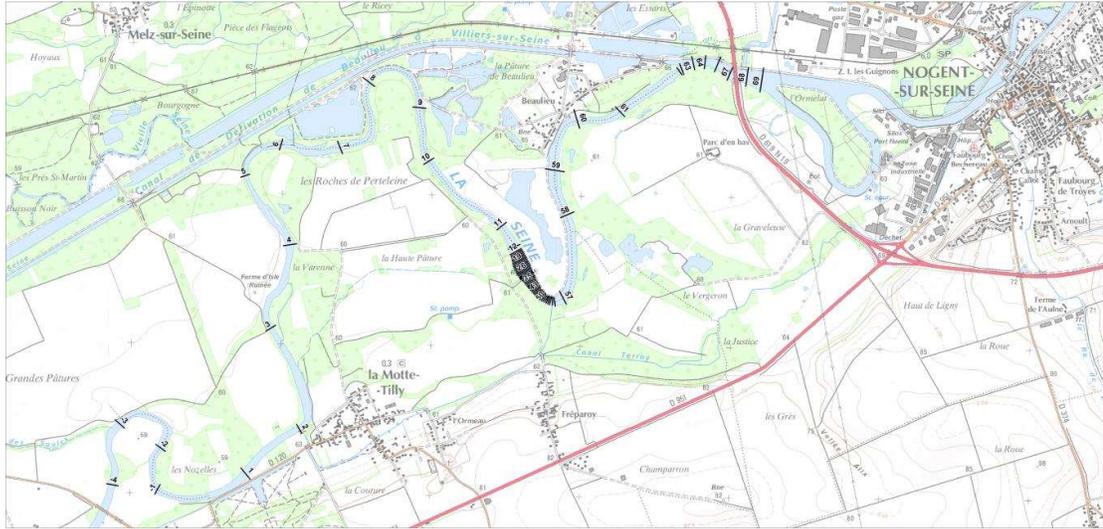
**Tabl. 22 - Références des profils en travers utilisés pour le modèle**

Source/type de fichiers	Date du relevé	Nombre de profils	Dénomination
L93_Zone Ouest - profils de Beaulieu à Courceroy.dwg		20	Z1P1 à Z1P20
4284T_profils.dwg	Juillet 2008	43	Profil n°1 à profil n°43
Profils_Beaulieu_002H10.pdf	Dossier 002H10 du 24.02.2010 Edition du 10.03.2010	7	023-340 à 023-040 et 021-700 à 021-500

**Reconstruction du Barrage de Beaulieu**

MISSION DE MAITRISE D'OEUVRE

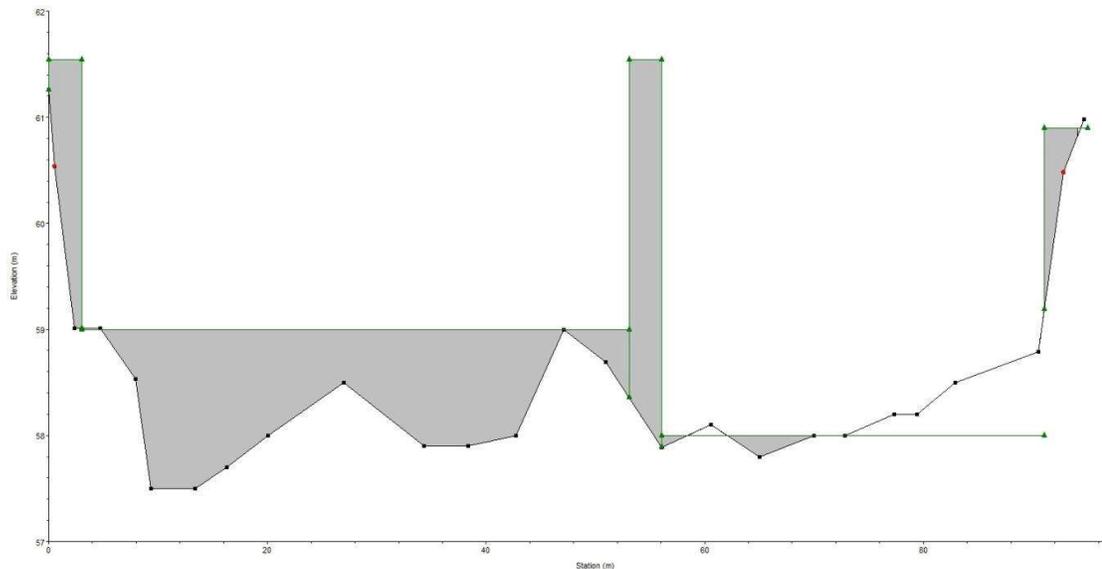
RAPPORT D'ETUDE PRELIMINAIRE



**Fig. 33. Localisation des profils en travers du modèle**

Le barrage de Beaulieu en configuration affalée est modélisé par un seuil rectangulaire épais.

La représentation du lit mineur par une succession de profils en travers permet de prendre en compte de façon précise la section d'écoulement (cf. Fig. 34). Les pentes, les rétrécissements, les élargissements sont de ce fait pris en compte dans le modèle.



**Fig. 34. Profil en travers du barrage amont sous HEC-RAS**

Pour affiner les calculs, des profils supplémentaires ont été ajoutés par interpolation entre les profils en travers fournis par VNF à l'aide du logiciel.

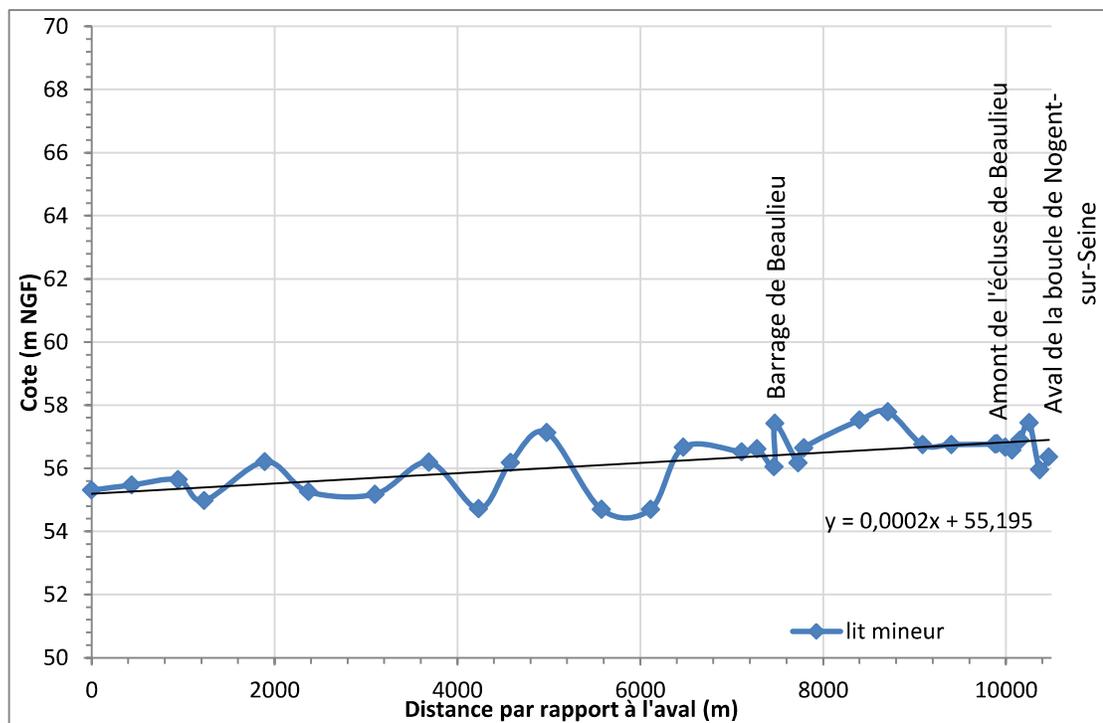
## 2.1. COMPLEMENT DE PROFIL EN TRAVERS

Dans le cas de certains profils en travers fournis par VNF, la bathymétrie du lit mineur ne débute pas du haut de la rive gauche au haut de la rive droite. Par conséquent, ces profils ont été complétés à l'aide des données de photogrammétries fournies par VNF.

Dans le cadre de l'avant-projet, afin d'obtenir de préciser les résultats, il serait intéressant d'obtenir des profils en travers plus étendus.

## 2.2. PROFIL EN LONG DU LINEAIRE D'ETUDE

La Fig. 35 ci-dessous présente le profil en long du linéaire étudié.



**Fig. 35.** Profil en long de la Seine entre l'aval de la boucle de Nogent et l'amont du pont de Courceroy

## 3. CALAGE ET VALIDATION DU MODELE

### 3.1. PRINCIPE

La phase de calage du modèle consiste en un réglage des différents paramètres de calcul du modèle, et plus spécialement ceux des coefficients de rugosité des sols (coefficient de Strickler) et des coefficients de seuil au niveau des ouvrages hydrauliques.

La rugosité exprime l'état de surface d'un terrain et le frottement qu'exerce le terrain sur l'écoulement. Les paramètres de rugosité sont initialisés en fonction de l'occupation des sols ; dans le cas de cette étude, les profils en travers représentent le lit mineur du cours d'eau et une légère partie de la ripisylve de la berge. Un coefficient de rugosité a été affecté par secteur homogène sur chaque profil en travers en fonction de l'occupation des sols (lit mineur, ripisylve).

Les paramètres (coefficients de Strickler et coefficient de seuil) sont ajustés par calculs itératifs pour un débit dont la ligne d'eau est connue afin que le modèle soit représentatif des écoulements.

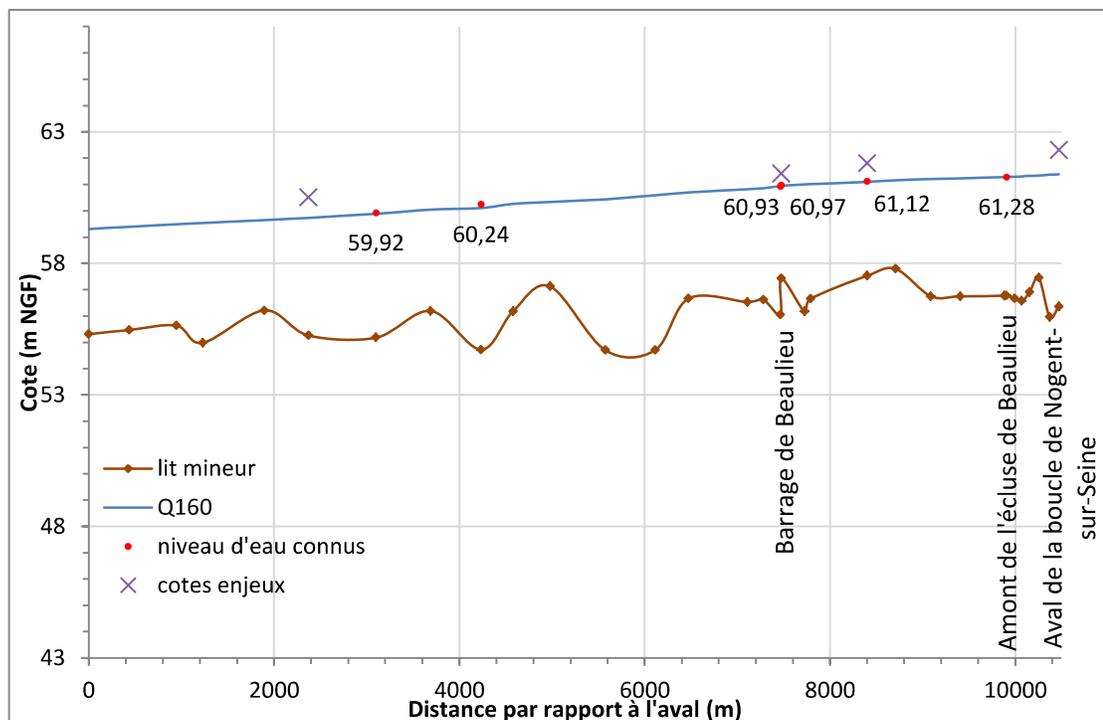
Le calage du modèle hydraulique constitue une étape essentielle de la modélisation car il conditionne la qualité et la validité des résultats ultérieurs. Il permet d'obtenir un ordre de grandeur de la précision du modèle.

La validation permet de vérifier que le calage a été réalisé correctement. La représentativité du modèle est évaluée pour un nouveau débit dont les niveaux d'eau sont connus sans qu'aucun paramètre issu du calage ne soit modifié.

### 3.2. CALAGE

Le calage du modèle a été réalisé à partir des données de l'étude SOGREAH – Aménagement des vallées de l'Aube et de la Seine de 1983. Les niveaux d'eau sont connus sur tout le linéaire d'étude, et permettent ainsi le meilleur ajustement des paramètres du modèle. Il a été réalisé pour un débit de  $160 \text{ m}^3/\text{s}$  et avec une condition aval de  $59.31 \text{ m NGF}$ .

La figure ci-dessous représente la ligne d'eau obtenue par le calcul du modèle en regard des niveaux d'eau connus.



**Fig. 36. Ligne d'eau obtenue lors du calage du modèle avec les niveaux d'eau SOGREAH 1983 ( $160 \text{ m}^3/\text{s}$ )**

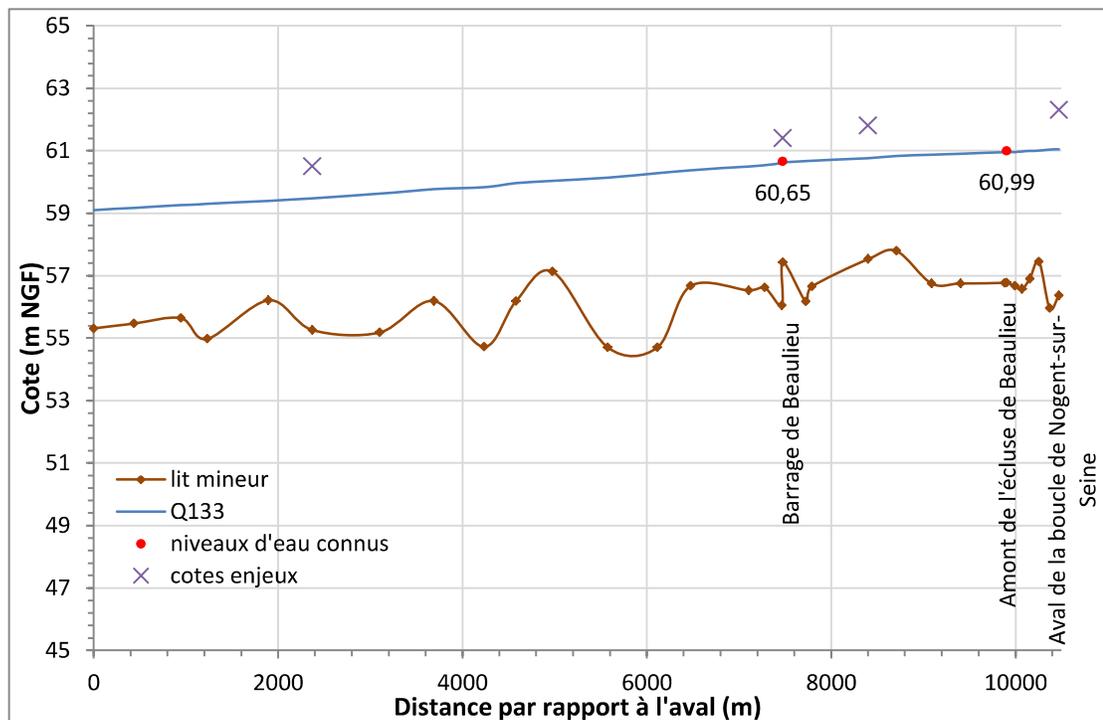
La ligne d'eau obtenue présente un écart moyen de 3 cm et une moyenne des écarts absolus de 4 cm par rapport aux niveaux d'eau connus.

Le calage a permis de déterminer les coefficients de rugosité du lit mineur et le coefficient de seuil du barrage actuel. A l'amont du barrage, le coefficient de Strickler est de 32 et à l'aval du barrage le coefficient de Strickler est de 34. Ces valeurs sont cohérentes avec celles de l'étude SAFEGE – Etude B, Modélisation hydraulique de la Vallée de la Petite Seine de 2011 qui a déterminé un coefficient de Strickler de 32 sur ce linéaire. Le coefficient de seuil de l'ouvrage actuel a été déterminé à 0.316.

### 3.3. VALIDATION

La validation du modèle a été réalisée à partir des données des cahiers des éclusiers et des niveaux d'eau pour un débit de  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  de l'étude SOGREA – Aménagement des vallées de l'Aube et de la Seine de 1983. Les lignes d'eau sont calculées par le modèle sans modifier ses paramètres de calage et sont comparées aux niveaux d'eau relevés. Les données des éclusiers permettent de comparer la ligne d'eau à l'amont du barrage.

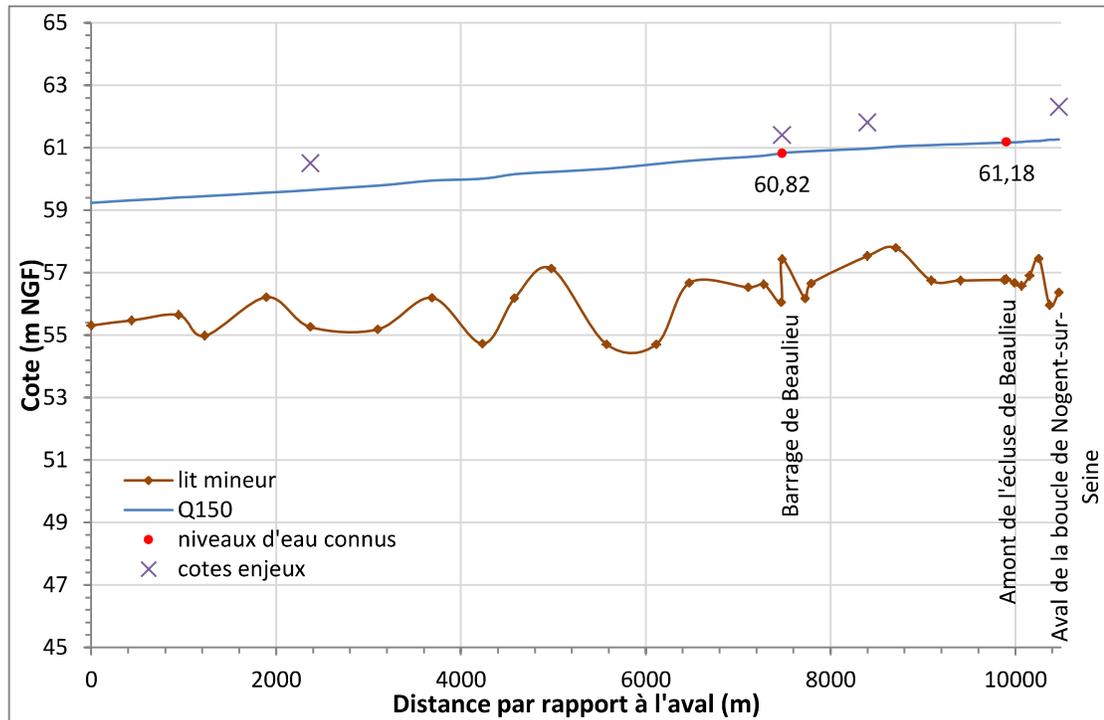
Les figures ci-dessous représentent les deux lignes d'eau obtenues pour les débits extrêmes en regard des niveaux d'eau recueillis dans les cahiers des éclusiers.



**Reconstruction du Barrage de Beaulieu**

MISSION DE MAITRISE D'OEUVRE

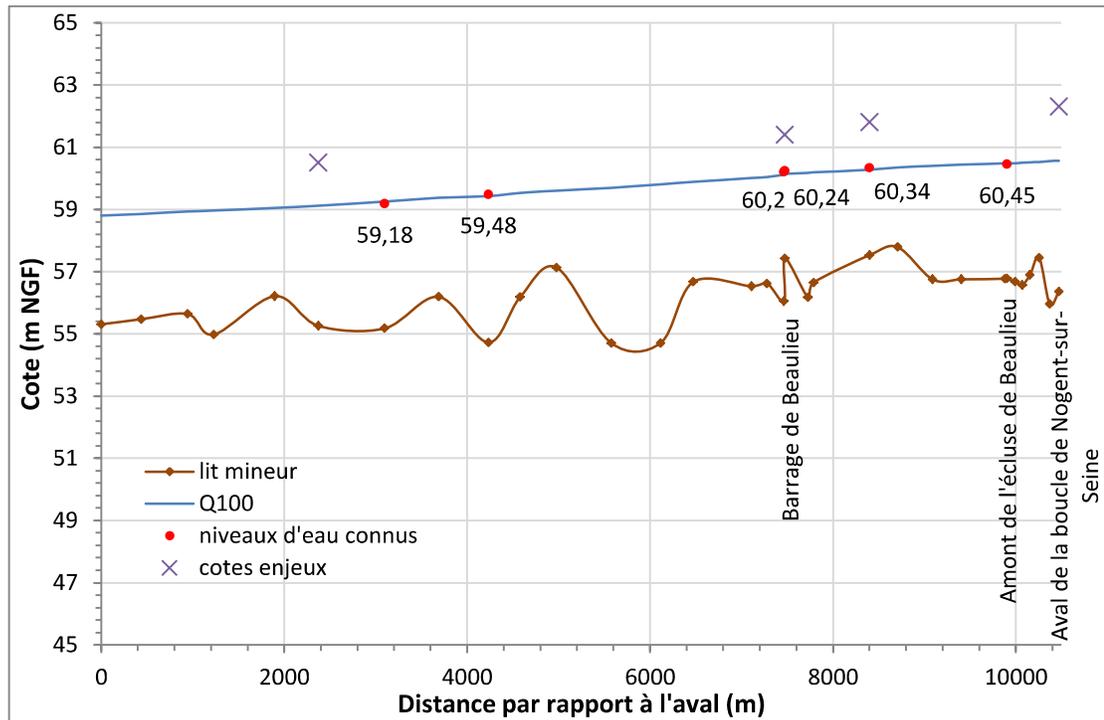
RAPPORT D'ETUDE PRELIMINAIRE



**Fig. 37. Deux lignes d'eau obtenues lors de la validation du modèle avec les niveaux d'eau des éclusiers (133 m<sup>3</sup>/s et 150 m<sup>3</sup>/s)**

L'ensemble des lignes d'eau présente un écart moyen et une moyenne des écarts absolus de 4 cm par rapport aux niveaux d'eau connus.

La Fig. 38 présente la ligne d'eau obtenue pour un débit de 100 m<sup>3</sup>/s en regard des niveaux d'eau relevés dans l'étude SOGREAH de 1983.



**Fig. 38. Ligne d'eau obtenue lors de la validation du modèle avec les niveaux d'eau de l'étude SOGREAH 1983 (100 m<sup>3</sup>/s)**

La ligne d'eau présente un écart moyen de 4 cm et une moyenne des écarts absolus de 7 cm par rapport aux niveaux d'eau connus.

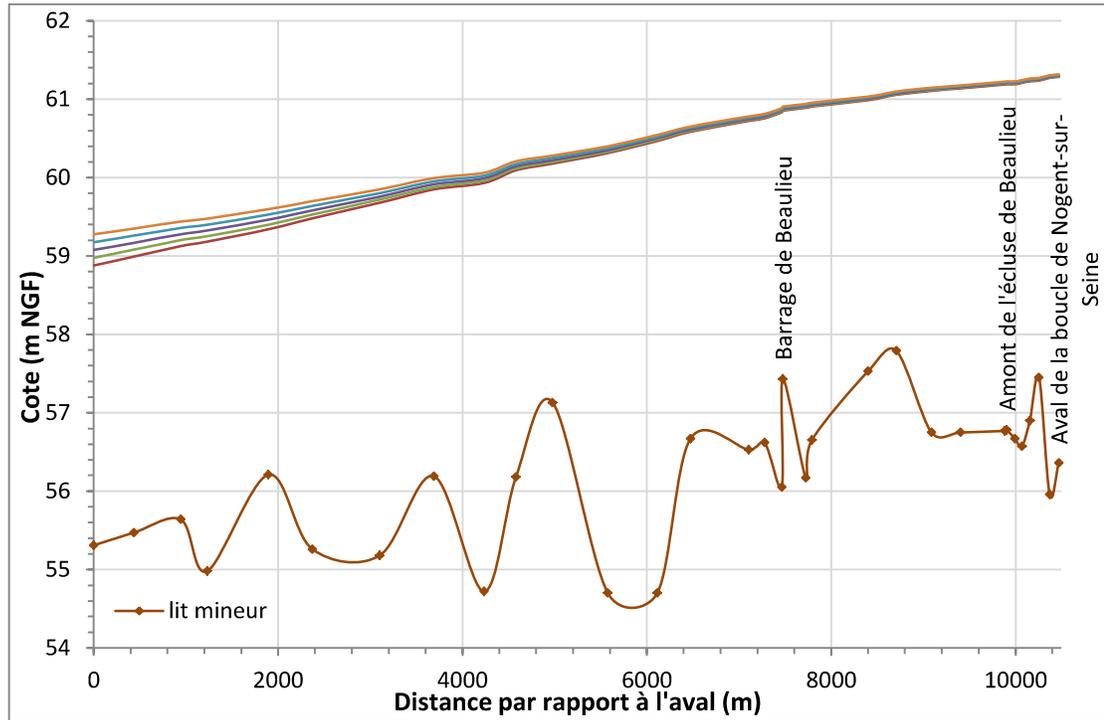
### 3.4. INFLUENCE DE LA CONDITION AVAL

Le secteur d'étude étant très peu pentu, l'influence de la condition aval remonte loin à l'amont. Le modèle a été construit en s'étendant au maximum à l'aval du barrage afin de limiter cette influence. Une ligne d'eau a été calculée pour une condition aval égale à la hauteur normale avec un débit de 150 m<sup>3</sup>/s. Cette ligne d'eau a servi de référence pour estimer l'influence de la condition aval. Quatre lignes d'eau ont alors été calculées pour des conditions aval différentes. La Fig. 39 ci-dessous présente les lignes d'eau calculées, avec au milieu la ligne d'eau référence.

**Reconstruction du Barrage de Beaulieu**

MISSION DE MAITRISE D'OEUVRE

RAPPORT D'ETUDE PRELIMINAIRE



**Fig. 39. Influence de la condition aval sur la ligne d'eau**

Le Tabl. 23 - ci-dessous présente les écarts pour différents aux niveaux des enjeux.

**Tabl. 23 - Influence de la condition aval sur la ligne d'eau**

Débits (m3/s)	Cote aval (m NGF)	Ecart (cm)	Cote amont barrage (m NGF)	Ecart (cm)	Cote amont écluse (m NGF)	Ecart (cm)	Cote amont (m NGF)	Ecart (cm)
150	58.88	-20	60.85	-2	61.19	-2	61.28	-2
150	58.98	-10	60.86	-1	61.20	-1	61.29	-1
150	58.18	+10	60.89	+2	61.22	+1	61.31	+1
150	58.	+20	60.90	+3	61.23	+2	61.32	+2

Les résultats montrent que l'influence de la condition aval est faible aux abords du barrage, de l'écluse et de l'aval de Nogent-sur-Seine. La condition aval amène une incertitude de l'ordre du centimètre au droit du barrage, il est donc considéré que le modèle s'affranchit de l'influence de la condition aval.

## SOMMAIRE

<b>1.</b>	<b>SYNTHESE ET CONCLUSION</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>CRITERES DE PROJET</b>	<b>3</b>
<b>2.1.</b>	<b>DESCRIPTION GENERALE DU BARRAGE ACTUEL</b>	<b>3</b>
2.1.1.	JUSTIFICATION	3
2.1.2.	PRINCIPALES CARACTERISTIQUES	3
2.1.2.1.	CARACTERISTIQUES HYDRAULIQUES	3
2.1.2.2.	PASSE NAVIGABLE (RIVE DROITE)	3
2.1.3.	HISTORIQUE DU BARRAGE ACTUEL	4
2.1.4.	DESCRIPTION DETAILLEE	4
2.1.4.1.	GENIE CIVIL	4
2.1.4.2.	PASSE NAVIGABLE (RIVE DROITE)	5
2.1.4.3.	PASSE DEVERSOIR (RIVE GAUCHE)	6
2.1.4.4.	EQUIPEMENT ELECTRIQUE	7
2.1.4.5.	LIGNES DE VIE	7
2.1.4.6.	CABLE PARE BATEAU	7
2.1.5.	Accès au site du barrage	7
2.1.5.1.	ACCES TERRESTRE DEPUIS LA RIVE GAUCHE	7
2.1.5.2.	ACCES TERRESTRE DEPUIS LA RIVE DROITE	8
2.1.5.3.	ACCES PAR LA VOIE NAVIGABLE	8
<b>2.2.</b>	<b>CONDITIONS PHYSIQUES DU SITE</b>	<b>8</b>
2.2.1.	Référentiel altimétrique	8
2.2.2.	Géographiques	8
2.2.2.1.	CONFIGURATION GENERALE	8
2.2.2.2.	PARCELLAIRE	8
2.2.2.3.	TOPOGRAPHIE GENERALE DU SITE	8
2.2.3.	Climatiques	9
<b>2.3.</b>	<b>HYDROLOGIE</b>	<b>9</b>
2.3.1.	Présentation du Bassin Versant	9
2.3.1.1.	STATIONS HYDROMETRIQUES EXISTANTES	9
2.3.1.2.	NIVEAUX D'EAUX	10
2.3.2.	Analyse des données hydrologiques	11
2.3.2.1.	DEBITS COURANTS ET DEBITS DE CRUES	11
2.3.2.2.	DEBITS DE BASSES EAUX	12
2.3.2.3.	DEBITS JOURNALIERS ET DEBITS INSTANTANES	12
2.3.2.4.	STATION HYDROMETRIQUE RETENUE	13
2.3.2.5.	NIVEAUX DES HAUTES EAUX RETENUS	13
2.3.2.6.	COURBE DES DEBITS CLASSES UTILISES POUR LA PASSE A POISSONS	14
<b>2.4.</b>	<b>CONTEXTE GEOTECHNIQUE ET GEOLOGIQUE</b>	<b>15</b>
2.4.1.	Documents de référence	15
2.4.2.	Géologie générale	15
2.4.3.	Lithologie au droit du barrage existant	16
2.4.3.1.	CAMPAGNE DE RECONNAISSANCES REALISEES EN 2008	16
2.4.3.2.	GEOLOGIE RELEVÉE PAR SONDAGES	17
2.4.3.3.	PROPRIETES MECANIQUES DES SOLS	19
2.4.4.	Hypothèses géomécaniques	20
2.4.5.	Hydrogéologie	20
2.4.6.	Reconnaitances géotechniques complémentaires à effectuer	21
<b>2.5.</b>	<b>ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX</b>	<b>21</b>
2.5.1.	Contexte général	21
2.5.2.	Contexte local	21
<b>2.6.</b>	<b>ENJEUX PISCICOLES</b>	<b>24</b>
2.6.1.	Espèces holobiotiques (vivant exclusivement en eaux douces)	24
2.6.2.	Espèces amphibiotiques (vivant alternativement en eau douce et en eau salée)	27
2.6.2.1.	ANGUILLE	27
2.6.2.2.	AUTRES ESPECES	27
2.6.3.	Aspect réglementaire	27
<b>2.7.</b>	<b>ENJEUX ARCHITECTURAUX</b>	<b>28</b>
<b>2.8.</b>	<b>PRINCIPAUX ENJEUX DU PROGRAMME (RAPPELS DU CAHIERS DES CHARGES)</b>	<b>28</b>

2.8.1.	<b>Fonctionnalités du barrage projeté</b>	28
2.8.1.1.	MAINTIEN DES PLANS D'EAU	28
2.8.1.2.	LIGNES D'EAU	28
2.8.1.3.	NAVIGATION	29
2.8.2.	<b>Corps flottants et embâcles</b>	29
2.8.3.	<b>Chocs de bateaux</b>	29
2.8.4.	<b>Sismicité du site</b>	29
2.8.5.	<b>Exploitation du nouveau barrage</b>	29
2.8.6.	<b>Maintenance</b>	29
<b>3.</b>	<b>ORIENTATIONS TECHNIQUES DU PROJET</b>	<b>31</b>
3.1.	<b>METHODOLOGIE</b>	<b>31</b>
3.2.	<b>CALCULS HYDRAULIQUES ET INTERPRETATIONS DES IMPACTS</b>	<b>31</b>
3.2.1.	<b>Préambule au modèle hydraulique</b>	<b>31</b>
3.2.2.	<b>Présentation du linéaire modélisé</b>	<b>32</b>
3.2.3.	<b>Exploitation du modèle</b>	<b>33</b>
3.2.3.1.	ETAT ACTUEL	33
3.2.3.2.	DEFINITION DES PRINCIPES GEOMETRIQUES ENVISAGEABLES	34
3.3.	<b>HYDROLOGIE MENSUELLE DE LA RIVIERE / APPROCHE DE LA PERIODE DE TRAVAUX</b>	<b>37</b>
3.4.	<b>ANALYSE DES CONTRAINTES PHYSIQUES</b>	<b>38</b>
3.4.1.	<b>Implantation du barrage reconstruit</b>	<b>38</b>
3.4.1.1.	A L'AVAL	38
3.4.1.2.	A L'AMONT	38
3.4.1.3.	SUR L'EMPRISE ACTUELLE	39
3.4.2.	<b>Géotechnique</b>	<b>39</b>
3.4.2.1.	FONDATION DU BARRAGE	39
3.4.2.2.	BATARDEAU DE CHANTIER	40
3.4.3.	<b>Environnement – Emprise foncière</b>	<b>40</b>
3.4.4.	<b>Accès – emprises foncières</b>	<b>41</b>
3.5.1.	<b>Généralités sur les bouchures existantes sur la Seine amont</b>	<b>41</b>
3.5.2.	<b>Types de bouchure non retenus dans le cadre de l'étude</b>	<b>42</b>
3.5.3.	<b>Définition des principes de bouchures retenus</b>	<b>44</b>
3.5.3.1.	SOLUTION VANNES CLAPETS	44
3.5.3.2.	SOLUTION PAR BGVM (BARRAGE GONFLABLE A VOILETS METALLIQUES)	46
3.6.	<b>CHOIX DES ORGANES DE MANŒUVRE DES BOUCHURES</b>	<b>47</b>
3.6.1.	<b>Types d'organes de manœuvre envisageables</b>	<b>47</b>
3.6.2.	<b>Choix entre vérin hydraulique et treuil à chaîne</b>	<b>49</b>
3.6.2.1.	GENERALITES	49
3.6.2.2.	MAINTIEN DU PLAN D'EAU EN CAS DE DYSFONCTIONNEMENT DE L'ORGANE DE MANŒUVRE	50
3.6.2.3.	FACILITES D'ACCES	50
3.6.3.	<b>Principe de manœuvre retenu</b>	<b>51</b>
3.7.	<b>BALAYAGE DES SOLUTIONS DE BATARDAGE DE MAINTENANCE</b>	<b>53</b>
3.7.1.1.	BATARDEAU A AIGUILLES	53
3.7.1.2.	BATARDEAU DE MAINTENANCE POUR VANNES PRESQUE TOTALEMENT IMMERGÉES	54
3.7.1.3.	BATARDEAU DE MAINTENANCE POUR FAIBLE PROFONDEUR	54
3.7.1.4.	DEFINITION DES PRINCIPES DE BATARDAGE DE MAINTENANCE RETENUS	55
3.8.	<b>CHOIX DU TYPE DE FRANCHISSEMENT PISCICOLE</b>	<b>57</b>
3.8.1.	<b>Montaison</b>	<b>57</b>
3.8.2.	<b>Avalaison</b>	<b>57</b>
3.8.3.	<b>Hydraulique</b>	<b>57</b>
3.8.4.	<b>Approche environnementale</b>	<b>58</b>
3.8.5.	<b>Définition des principes de franchissement piscicole</b>	<b>59</b>
3.8.1.	<b>Comparaison technique des deux solutions de franchissement piscicole</b>	<b>59</b>
3.9.	<b>DEFINITION DES SOLUTIONS DE DEFENSE PARE-BATEAUX</b>	<b>60</b>
3.9.1.1.	CABLE DE GARDE A VERIN	60
3.9.1.2.	SYSTEME NAVISTOP2	61
3.9.1.3.	PRINCIPE PARE-BATEAUX RETENU	61
3.10.	<b>CHOIX DU FRANCHISSEMENT PIETON</b>	<b>62</b>
3.11.	<b>CHOIX D'UNE SOLUTION POUR LE FRANCHISSEMENT DES CANOËS</b>	<b>62</b>
3.12.	<b>BILAN DE L'ANALYSE, DEFINITION DE L'AMENAGEMENT TEMOIN</b>	<b>62</b>

<b>4.</b>	<b>PROPOSITIONS TECHNIQUES D'AMENAGEMENT</b>	<b>64</b>
4.2.	JUSTIFICATION GEOMETRIQUES PREALABLES DES BARRAGES	65
4.2.1.	Géométrie générale du barrage BGVM	65
4.2.2.	Géométrie générale du barrage Clapet	65
4.2.3.	Radier et Fondation	65
4.2.4.	Bassin de dissipation des ouvrages	67
4.3.	DESCRIPTION DES SOLUTIONS PROPOSEES A L'ETUDE PRELIMINAIRE	69
4.3.1.	Reconstruction à l'amont	69
4.3.1.1.	IMPLANTATION DE L'OUVRAGE	69
4.3.1.2.	GEOMETRIE GENERALE DE L'OUVRAGE	69
4.3.1.3.	GEOMETRIE DU BARRAGE BGVM	69
4.3.1.4.	GEOMETRIE DU BARRAGE CLAPET	70
4.3.1.5.	DESCRIPTION SOMMAIRE DES TRAVAUX	71
4.3.1.6.	APPROCHE DE L'IMPACT HYDRAULIQUE DES BATARDEAUX DE CHANTIER	71
4.3.2.	Reconstruction sur l'emprise actuelle	74
4.3.2.1.	IMPLANTATION	74
4.3.2.2.	GEOMETRIE GENERALE DE L'OUVRAGE	74
4.3.2.3.	GEOMETRIE GENERALE DE L'OUVRAGE BGVM	75
4.3.2.4.	GEOMETRIE GENERALE DE L'OUVRAGE CLAPET	76
4.3.2.5.	DESCRIPTION SOMMAIRE DES TRAVAUX	76
4.3.3.	Impact hydraulique du projet en phase construction	77
4.3.3.1.	PREAMBULE L'IMPACT EN PHASE CONSTRUCTION DU PROJET	77
4.3.3.2.	ESTIMATION DE L'IMPACT EN PHASE CONSTRUCTION	77
4.4.	DESCRIPTIONS DES SCENARIOS DE « FRANCHISSEMENT PISCICOLE »	78
4.4.1.	Implantation	78
4.4.2.	Passe à bassins successifs	78
4.4.2.1.	CARACTERISTIQUES GENERALES	78
4.4.2.2.	MISE EN OEUVRE	80
4.4.3.	Rampe à macro-rugosités	81
4.4.3.1.	CARACTERISTIQUES GENERALES	81
4.4.3.2.	MISE EN OEUVRE	82
4.4.4.	Génie civil des passes à poissons	83
4.5.	DEFINITION DES SCENARIOS PASSERELLES	83
4.5.1.	Implantations par rapport à l'axe existant	83
4.5.2.	La passerelle entre les deux rives	84
4.5.3.	BGVM et clapets	84
4.5.4.	Conception architecturale et paysagère de la passerelle	84
4.5.4.1.	BARRAGE A CLAPETS	84
4.5.4.2.	BARRAGE BGVM	85
4.5.4.3.	BGVM AU DROIT DE L'AXE DU BARRAGE EXISTANT	86
4.6.	DEFINITION ET EVALUATION DES COUTS DE CONSTRUCTION	86
4.6.1.	GENERALITES	86
4.6.2.	Estimation DU PROGRAMME	87
4.6.3.	Estimation études préliminaires	87
4.6.3.1.	ESTIMATIONS DES COUTS DE TRAVAUX DANS LE CADRE D'UNE RECONSTRUCTION DU BARRAGE A L'AMONT	88
4.6.3.2.	ESTIMATIONS DES COUTS DE TRAVAUX DANS LE CADRE D'UNE RECONSTRUCTION DU BARRAGE SUR L'EMPRISE ACTUELLE	89
4.6.3.3.	COMPARATIF FINANCIER DES SCENARIOS D'IMPLANTATION	90
<b>ANNEXE 1</b>	<b>Présentation du modèle de calcul hydraulique</b>	<b>91</b>
<b>1.</b>	<b>LOGICIEL DE MODELISATION</b>	<b>92</b>
<b>2.</b>	<b>CONSTRUCTION DU MODELE</b>	<b>92</b>
2.1.	COMPLEMENT DE PROFIL EN TRAVERS	94
2.2.	PROFIL EN LONG DU LINEAIRE D'ETUDE	94
<b>3.</b>	<b>CALAGE ET VALIDATION DU MODELE</b>	<b>94</b>
3.1.	PRINCIPE	94
3.2.	CALAGE	95
3.3.	VALIDATION	96

3.4. INFLUENCE DE LA CONDITION AVAL	98
-------------------------------------	----

## **ANNEXE 2 Pré-dimensionnement des ouvrages de franchissement piscicole** 100

### **1. PASSES A BASSINS** 101

1.1. DESCRIPTIF DU DISPOSITIF	101
1.1.1. Cloisons et bassins courant	101
1.1.2. Entrée de la passe	102
1.2. SIMULATIONS DE FONCTIONNEMENT	103
1.2.1. Méthodologie	103
1.2.2. Résultats	104
1.2.3. Conclusions	107

### **2. RAMPE A MACRO-RUGOSITES** 108

2.1. DESCRIPTIF DU DISPOSITIF	108
2.1.1. Caractéristiques de la rampe	108
2.1.2. Entrée de la passe	111
2.1.3. Sortie de la passe	111
2.1.4. Bassin de repos	111
2.2. SIMULATIONS DE FONCTIONNEMENT	111
2.2.1. Méthodologie	111
2.2.2. Plage de fonctionnement et tirant d'eau	111
2.2.3. Débit	112
2.2.4. Vitesses	112
2.2.5. Puissance dissipée volumique	113
2.2.6. Conclusions	114

## **ANNEXE 3 Cahier de plans et photomontage** 115

## **TABLEAUX**

TABL. 1 - CARACTERISTIQUES DES STATIONS HYDROMETRIQUES DE LA SEINE A PONT-SUR-SEINE ET A BAZOCHES-LES-BRAY	10
TABL. 2 - CARACTERISTIQUES DES STATIONS HYDROMETRIQUES DE L'ARDUSSON ET DE LA VOULZIE	10
TABL. 3 - DEBITS CARACTERISTIQUES DE CRUES DE LA SEINE A PONT-SUR-SEINE ET A BAZOCHES-LES-BRAY	11
TABL. 4 - DEBITS CARACTERISTIQUES DE BASSES EAUX DE LA SEINE A PONT-SUR-SEINE ET A BAZOCHES-LES-BRAY	12
TABL. 5 - COEFFICIENT DE POINTE DE LA SEINE A PONT-SUR-SEINE ET BAZOCHES-LES-BRAY	13
TABL. 6 - NIVEAUX D'EAU A L'ECLUSE ET AU BARRAGE DE BEAULIEU ET DEBITS JOURNALIERS ASSOCIES	14
TABL. 7 - SYNTHESE GEOTECHNIQUE DANS L'ENVIRONNEMENT DU BARRAGE DE BEAULIEU	20
TABL. 8 - ESPECES HOLOBIOTIQUES ET TYPES DE MILIEUX	25
TABL. 9 - ESPECES REPERES SUIVANT NIVEAUX TYPOLOGIQUES	26
TABL. 10 - GEOMETRIES DE BARRAGE POSSIBLES POUR UN IMPACT NUL SUR LA LIGNE D'EAU	36
TABL. 11 - VALEURS CARACTERISTIQUES DES DEBITS CLASSES MENSUELS A PONT-SUR-SEINE ENTRE 1984 ET 2010	38
TABL. 12 - CARACTERISTIQUES GENERALES DES BARRAGES DE LA SEINE	41
TABL. 13 - DEFINITION DE L'AMENAGEMENT TEMOIN	63
TABL. 14 - ESTIMATION DU DEBIT DE DEBOREMENT EN PHASE TRAVAUX POUR LE PROJET AMONT	73
TABL. 15 - ESTIMATION DU DEBIT DE DEBOREMENT EN PHASE TRAVAUX POUR LE PROJET SUR L'EXISTANT	78
TABL. 16 - COUTS DES TRAVAUX DU BARRAGE ET DU FRANCHISSEMENT PISCICOLE A L'AMONT	88
TABL. 17 - COUTS DES TRAVAUX DE LA PASSERELLE PUBLIQUE A L'AMONT	88
TABL. 18 - COUTS TOTAUX DES TRAVAUX DE BARRAGE, PASSE A POISSONS ET PASSERELLE PUBLIQUE A L'AMONT	89
TABL. 19 - COUTS DES TRAVAUX DU BARRAGE ET DU FRANCHISSEMENT PISCICOLE SUR L'EMPRISE ACTUELLE	89
TABL. 20 - COUTS DES TRAVAUX DE LA PASSERELLE PUBLIQUE DANS LE CAS D'UN BARRAGE SUR L'EMPRISE ACTUELLE	89
TABL. 21 - COUTS TOTAUX DES TRAVAUX DE BARRAGE, PASSE A POISSONS ET PASSERELLE PUBLIQUE DANS LE CAS D'UNE RECONSTRUCTION SUR L'EMPRISE ACTUELLE	90

**Reconstruction du Barrage de Beaulieu**

MISSION DE MAITRISE D'OEUVRE

**RAPPORT D'ETUDE PRELIMINAIRE**

---

TABL. 22 - REFERENCES DES PROFILS EN TRAVERS UTILISES POUR LE MODELE	92
TABL. 23 - INFLUENCE DE LA CONDITION AVAL SUR LA LIGNE D'EAU	99

## FIGURES

FIG. 1.	COUPE DE PRINCIPE SUR HAUSSE CHANOINE	5
FIG. 2.	COUPE DE PRINCIPE SUR HAUSSE PASQUEAU	6
FIG. 3.	EXTRAIT DE LA CARTE GEOLOGIQUE DE NANGIS (BRGM, ECHELLE 1/50000)	16
FIG. 4.	PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES SUR LE SITE DE BEAULIEU	17
FIG. 5.	PROFIL GEOLOGIQUE AMONT SP1 A SP4	18
FIG. 6.	PROFIL GEOLOGIQUE AVAL SP6 A SP9	19
FIG. 7.	CARTOGRAPHIE SYNTHETIQUE DES ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX	23
FIG. 8.	PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE ET DE SES ENJEUX	33
FIG. 9.	LOIS DE SEUILS AU DROIT DU BARRAGE	34
FIG. 10.	IMPACTS DES DIFFERENTES GEOMETRIES DE BARRAGES SUR LA LIGNE D'EAU	36
FIG. 11.	DEBITS MOYENS MENSUELS DE LA SEINE A PONT-SUR-SEINE ENTRE 1979 ET 2010	37
FIG. 12.	BARRAGE DE BAHNITZ EN ALLEMAGNE BGE	43
FIG. 13.	EXEMPLE DU BARRAGE DE LA CAVE – SEINE AMONT. BARRAGE A VANNES CLAPETS	45
FIG. 14.	EXEMPLE DU BARRAGE DE VILLERS-DEVANT-MOUZON SUR LA MEUSE. BGVM	46
FIG. 15.	EXEMPLE DE VERINS ELECTROMECANIQUES	48
FIG. 16.	EXEMPLE DE CENTRALE HYDRAULIQUE PROJETEE	51
FIG. 17.	DEFINITION DU NOMBRE DE VERINS/DIMENSIONS CLAPETS (REF : DOSSIER TYPE CLAPET VNF)	52
FIG. 18.	EXEMPLE DE BATARDEAU A AIGUILLES POUR MAINTENANCE DE CLAPET – BARRAGE JOINVILLE	53
FIG. 19.	BARRAGE DE WADRINAU EN MOSELLE	54
FIG. 20.	EXEMPLE DE BATARDEAUX POUTRE A APPUIS INTERMEDIAIRES – BAHNITZ ALLEMAGNE	56
FIG. 21.	EXEMPLE EN COUPE ET VUE D'AMONT DU SYSTEME DE BATARDEAU AVAL	56
FIG. 22.	DISPOSITIF PARE-BATEAUX BARRAGE DE JAULNES	60
FIG. 23.	DISPOSITIF PARE-BATEAUX TYPE NAVISTOP2	61
FIG. 24.	SOLUTION DE RECONSTRUCTION AMONT AVEC BOUCHURES BGVM	70
FIG. 25.	SOLUTION DE RECONSTRUCTION AMONT AVEC BOUCHURES CLAPETS	71
FIG. 26.	IMPACT SUR LA LIGNE D'EAU EN PHASE TRAVAUX POUR LE PROJET A L'AMONT DU BARRAGE EXISTANT	73
FIG. 27.	SOLUTION DE RECONSTRUCTION SUR L'EMPRISE ACTUELLE AVEC BOUCHURES BGVM	75
FIG. 28.	IMPACT SUR LA LIGNE D'EAU EN PHASE TRAVAUX POUR LE PROJET AU DROIT DE L'EXISTANT	77
FIG. 29.	PASSE A DEUX FENTES VERTICALES.	79
FIG. 30.	COUPE DE PRINCIPE D'UNE PASSE A B ASSINS	80
FIG. 31.	RAMPE A MACRO-RUGOSITES (RMR), BLOCS BETON REGULIEREMENT REPARTIS	82
FIG. 32.	COUPE DE PRINCIPE D'UNE RAMPE A MACRO-RUGOSITES	83
FIG. 33.	LOCALISATION DES PROFILS EN TRAVERS DU MODELE	93
FIG. 34.	PROFIL EN TRAVERS DU BARRAGE AMONT SOUS HEC-RAS	93
FIG. 35.	PROFIL EN LONG DE LA SEINE ENTRE L'AVAL DE LA BOUCLE DE NOGENT ET L'AMONT DU PONT DE COURCEROY	94
FIG. 36.	LIGNE D'EAU OBTENUE LORS DU CALAGE DU MODELE AVEC LES NIVEAUX D'EAU SOGREAH 1983 (160 M <sup>3</sup> /S)	95
FIG. 37.	DEUX LIGNES D'EAU OBTENUES LORS DE LA VALIDATION DU MODELE AVEC LES NIVEAUX D'EAU DES ECLUSIERS (133 M <sup>3</sup> /S ET 150 M <sup>3</sup> /S)	97
FIG. 38.	LIGNE D'EAU OBTENUE LORS DE LA VALIDATION DU MODELE AVEC LES NIVEAUX D'EAU DE L'ETUDE SOGREAH 1983 (100 M <sup>3</sup> /S)	98
FIG. 39.	INFLUENCE DE LA CONDITION AVAL SUR LA LIGNE D'EAU	99
FIG. 40.	RMR, SCHEMA DE PRINCIPE ET NOTATIONS (D'APRES LARINIER ET AL., 2006).	109
FIG. 41.	RMR- COURBE Q = F(HAMONT)	112
FIG. 42.	RMR – VITESSE DEBITANTE MOYENNE DEBITANTE EN FONCTION DE LA COTE AMONT	113
FIG. 43.	RMR – VITESSE DEBITANTE MAXIMALE DEBITANTE EN FONCTION DE LA COTE AMONT	113
FIG. 44.	RMR – PUISSANCE DISSIPEE EN FONCTION DE LA COTE AMONT	114

## **ANNEXE 1**

# **Présentation du modèle de calcul hydraulique**

## 1. LOGICIEL DE MODELISATION

Afin de réaliser le pré-dimensionnement hydraulique du barrage, un modèle hydraulique unidimensionnel du lit mineur de la Seine a été exploité. Ce modèle a été réalisé à l'aide du logiciel *HEC-RAS*, développé par le corps des ingénieurs de l'US Army.

*HEC-RAS* est un logiciel de modélisation des écoulements à surface libre. Le cours d'eau y est représenté par une succession de profils en travers qui décrivent le lit mineur et le lit majeur si besoin. Les éléments singuliers que sont les ponts et les seuils sont pris en compte par le logiciel. La modélisation en lit mineur comprend :

- les écoulements en lit mineur (débits-hauteurs),
- les contraintes imposées par les ouvrages hydrauliques,
- les mises en charge au niveau des ouvrages.

Pour un débit donné, il permet d'extraire en tous points de la zone :

- les niveaux d'eau pour chaque profil en travers,
- le profil en long du lit mineur et la ligne d'eau représentés en regard des niveaux d'eau recueillis,
- le niveau d'eau au droit des ouvrages de franchissement,
- les vitesses moyennes d'écoulement pour plusieurs sections de chaque profil en travers.

## 2. CONSTRUCTION DU MODELE

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

Le modèle élaboré a été construit sur la base des levés bathymétriques fournis par VNF. 70 profils en travers de la Seine ont permis de représenter le lit mineur sur l'ensemble du linéaire d'étude avec une densification des profils aux alentours du barrage (cf. Fig. 33). Les références de ces profils en travers sont rappelées dans le Tabl. 22 - ci-dessous.

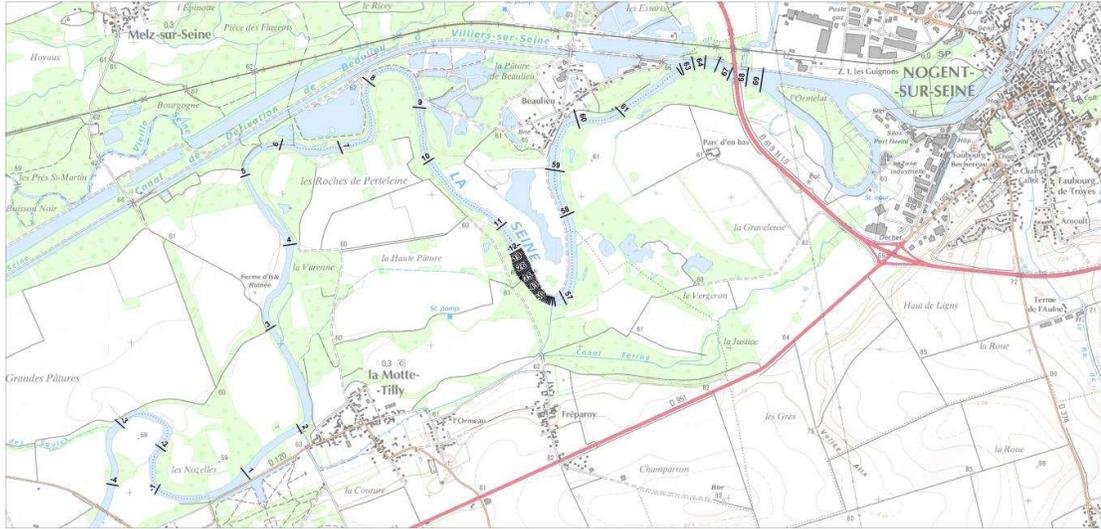
**Tabl. 22 - Références des profils en travers utilisés pour le modèle**

Source/type de fichiers	Date du relevé	Nombre de profils	Dénomination
L93_Zone Ouest - profils de Beaulieu à Courceroy.dwg		20	Z1P1 à Z1P20
4284T_profils.dwg	Juillet 2008	43	Profil n°1 à profil n°43
Profils_Beaulieu_002H10.pdf	Dossier 002H10 du 24.02.2010 Edition du 10.03.2010	7	023-340 à 023-040 et 021-700 à 021-500

**Reconstruction du Barrage de Beaulieu**

MISSION DE MAITRISE D'OEUVRE

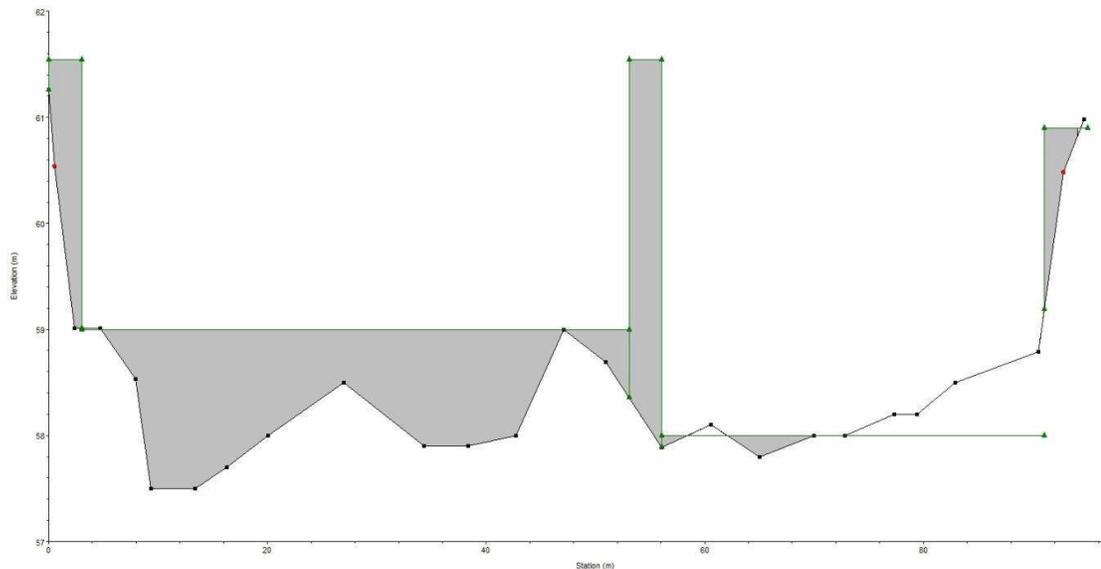
RAPPORT D'ETUDE PRELIMINAIRE



**Fig. 33. Localisation des profils en travers du modèle**

Le barrage de Beaulieu en configuration affalée est modélisé par un seuil rectangulaire épais.

La représentation du lit mineur par une succession de profils en travers permet de prendre en compte de façon précise la section d'écoulement (cf. Fig. 34). Les pentes, les rétrécissements, les élargissements sont de ce fait pris en compte dans le modèle.



**Fig. 34. Profil en travers du barrage amont sous HEC-RAS**

Pour affiner les calculs, des profils supplémentaires ont été ajoutés par interpolation entre les profils en travers fournis par VNF à l'aide du logiciel.

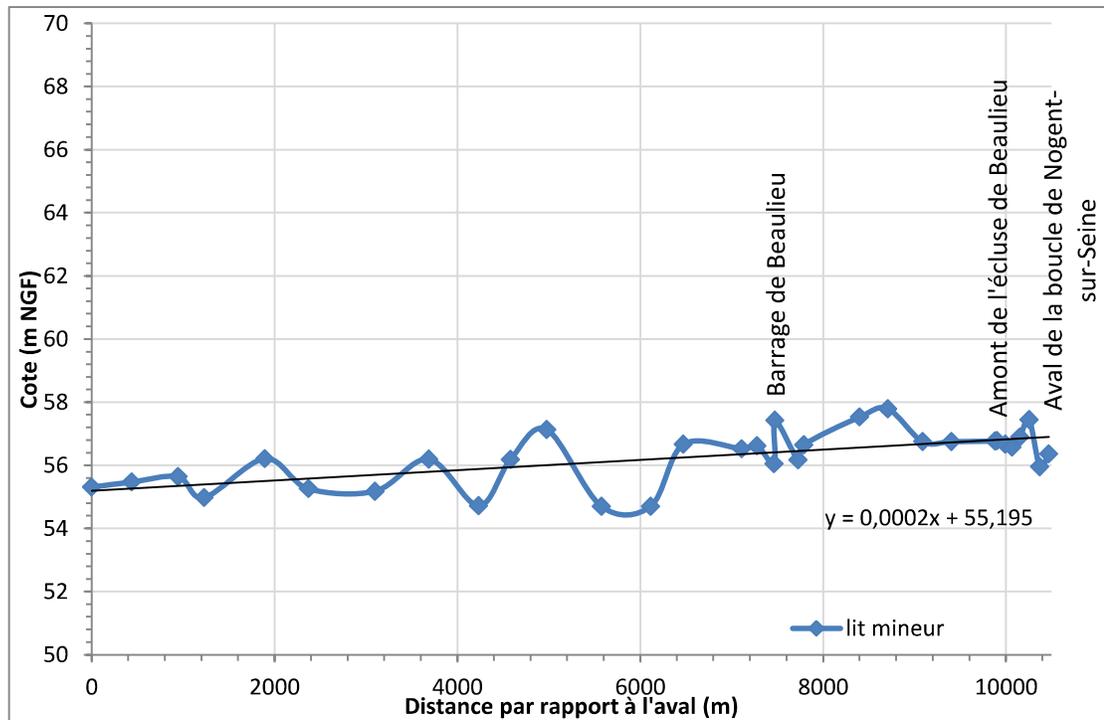
## 2.1. COMPLEMENT DE PROFIL EN TRAVERS

Dans le cas de certains profils en travers fournis par VNF, la bathymétrie du lit mineur ne débute pas du haut de la rive gauche au haut de la rive droite. Par conséquent, ces profils ont été complétés à l'aide des données de photogrammétries fournies par VNF.

Dans le cadre de l'avant-projet, afin d'obtenir de préciser les résultats, il serait intéressant d'obtenir des profils en travers plus étendus.

## 2.2. PROFIL EN LONG DU LINEAIRE D'ETUDE

La Fig. 35 ci-dessous présente le profil en long du linéaire étudié.



**Fig. 35.** Profil en long de la Seine entre l'aval de la boucle de Nogent et l'amont du pont de Courceroy

## 3. CALAGE ET VALIDATION DU MODELE

### 3.1. PRINCIPE

La phase de calage du modèle consiste en un réglage des différents paramètres de calcul du modèle, et plus spécialement ceux des coefficients de rugosité des sols (coefficient de Strickler) et des coefficients de seuil au niveau des ouvrages hydrauliques.

La rugosité exprime l'état de surface d'un terrain et le frottement qu'exerce le terrain sur l'écoulement. Les paramètres de rugosité sont initialisés en fonction de l'occupation des sols ; dans le cas de cette étude, les profils en travers représentent le lit mineur du cours d'eau et une légère partie de la ripisylve de la berge. Un coefficient de rugosité a été affecté par secteur homogène sur chaque profil en travers en fonction de l'occupation des sols (lit mineur, ripisylve).

Les paramètres (coefficients de Strickler et coefficient de seuil) sont ajustés par calculs itératifs pour un débit dont la ligne d'eau est connue afin que le modèle soit représentatif des écoulements.

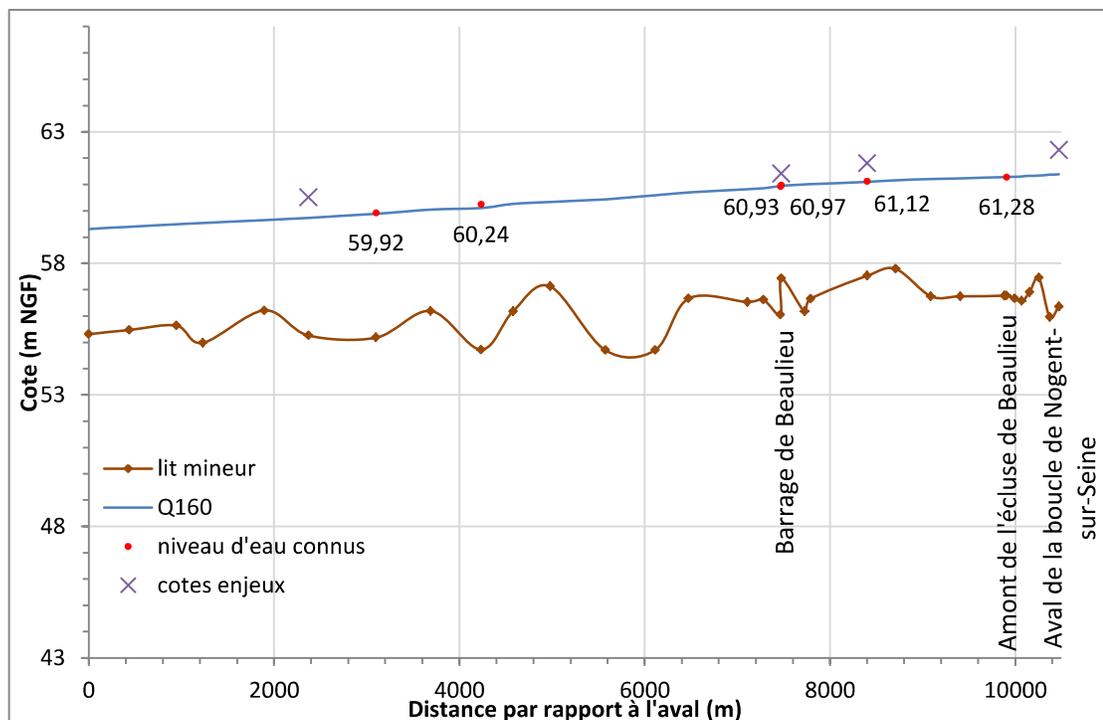
Le calage du modèle hydraulique constitue une étape essentielle de la modélisation car il conditionne la qualité et la validité des résultats ultérieurs. Il permet d'obtenir un ordre de grandeur de la précision du modèle.

La validation permet de vérifier que le calage a été réalisé correctement. La représentativité du modèle est évaluée pour un nouveau débit dont les niveaux d'eau sont connus sans qu'aucun paramètre issu du calage ne soit modifié.

### 3.2. CALAGE

Le calage du modèle a été réalisé à partir des données de l'étude SOGREAH – Aménagement des vallées de l'Aube et de la Seine de 1983. Les niveaux d'eau sont connus sur tout le linéaire d'étude, et permettent ainsi le meilleur ajustement des paramètres du modèle. Il a été réalisé pour un débit de  $160 \text{ m}^3/\text{s}$  et avec une condition aval de  $59.31 \text{ m NGF}$ .

La figure ci-dessous représente la ligne d'eau obtenue par le calcul du modèle en regard des niveaux d'eau connus.



**Fig. 36. Ligne d'eau obtenue lors du calage du modèle avec les niveaux d'eau SOGREAH 1983 ( $160 \text{ m}^3/\text{s}$ )**

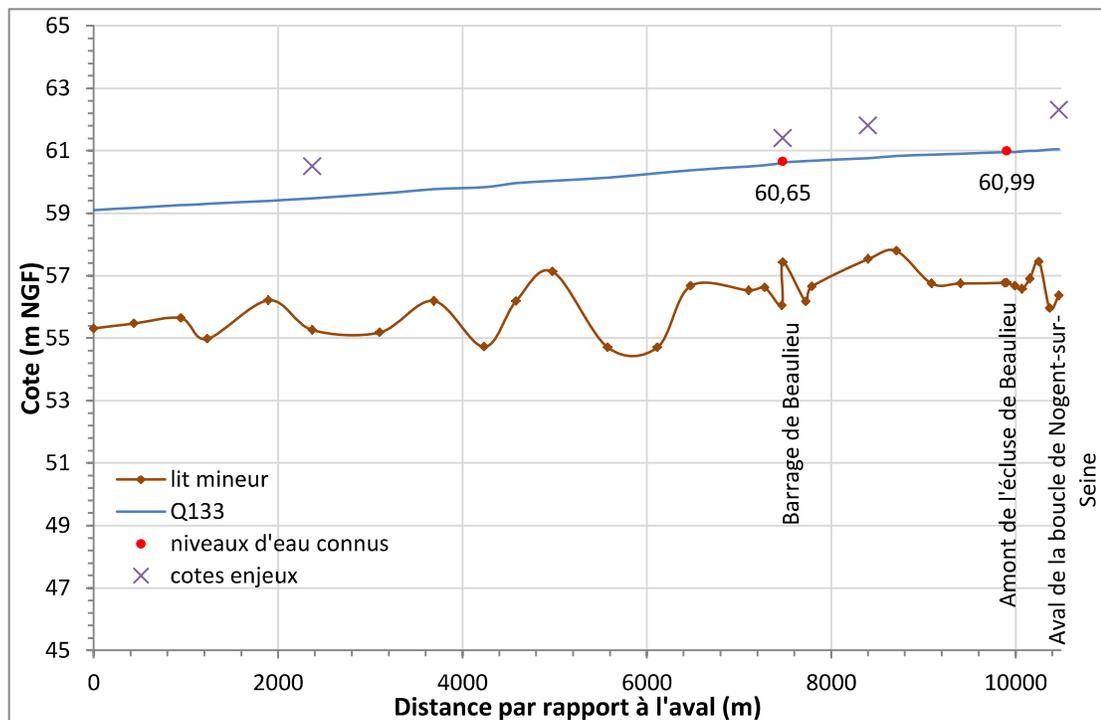
La ligne d'eau obtenue présente un écart moyen de 3 cm et une moyenne des écarts absolus de 4 cm par rapport aux niveaux d'eau connus.

Le calage a permis de déterminer les coefficients de rugosité du lit mineur et le coefficient de seuil du barrage actuel. A l'amont du barrage, le coefficient de Strickler est de 32 et à l'aval du barrage le coefficient de Strickler est de 34. Ces valeurs sont cohérentes avec celles de l'étude SAFEGE – Etude B, Modélisation hydraulique de la Vallée de la Petite Seine de 2011 qui a déterminé un coefficient de Strickler de 32 sur ce linéaire. Le coefficient de seuil de l'ouvrage actuel a été déterminé à 0.316.

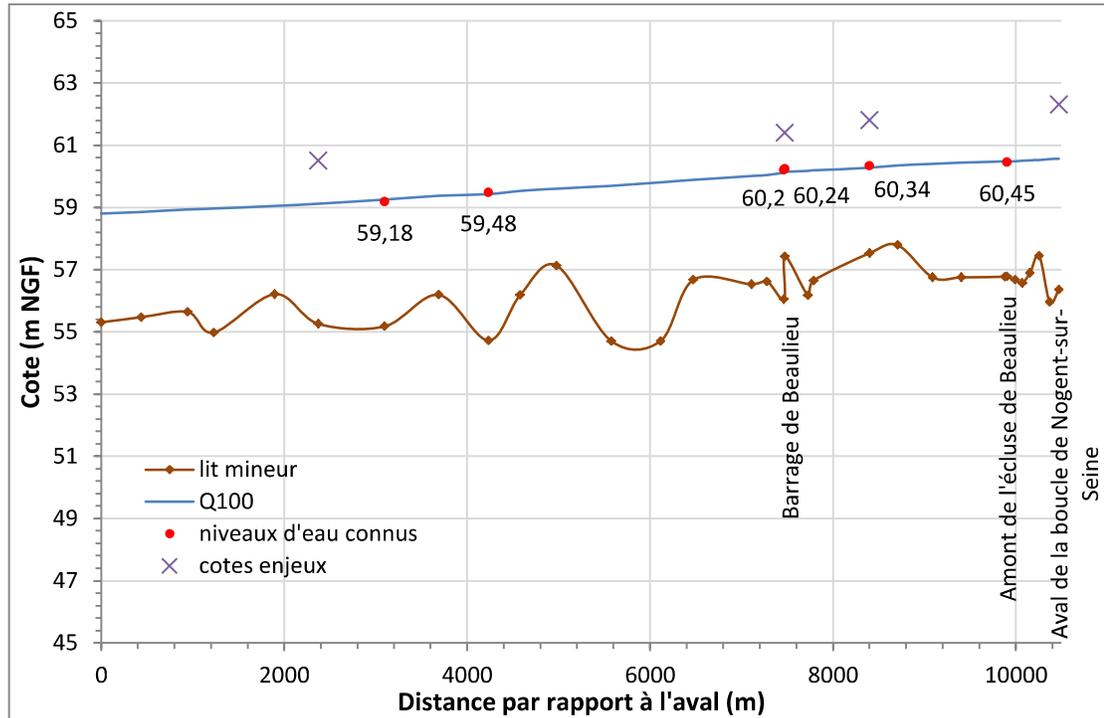
### 3.3. VALIDATION

La validation du modèle a été réalisée à partir des données des cahiers des éclusiers et des niveaux d'eau pour un débit de  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  de de l'étude SOGREA – Aménagement des vallées de l'Aube et de la Seine de 1983. Les lignes d'eau sont calculées par le modèle sans modifier ses paramètres de calage et sont comparées aux niveaux d'eau relevés. Les données des éclusiers permettent de comparer la ligne d'eau à l'amont du barrage.

Les figures ci-dessous représentent les deux lignes d'eau obtenues pour les débits extrêmes en regard des niveaux d'eau recueillis dans les cahiers des éclusiers.







**Fig. 38. Ligne d'eau obtenue lors de la validation du modèle avec les niveaux d'eau de l'étude SOGREAH 1983 (100 m<sup>3</sup>/s)**

La ligne d'eau présente un écart moyen de 4 cm et une moyenne des écarts absolus de 7 cm par rapport aux niveaux d'eau connus.

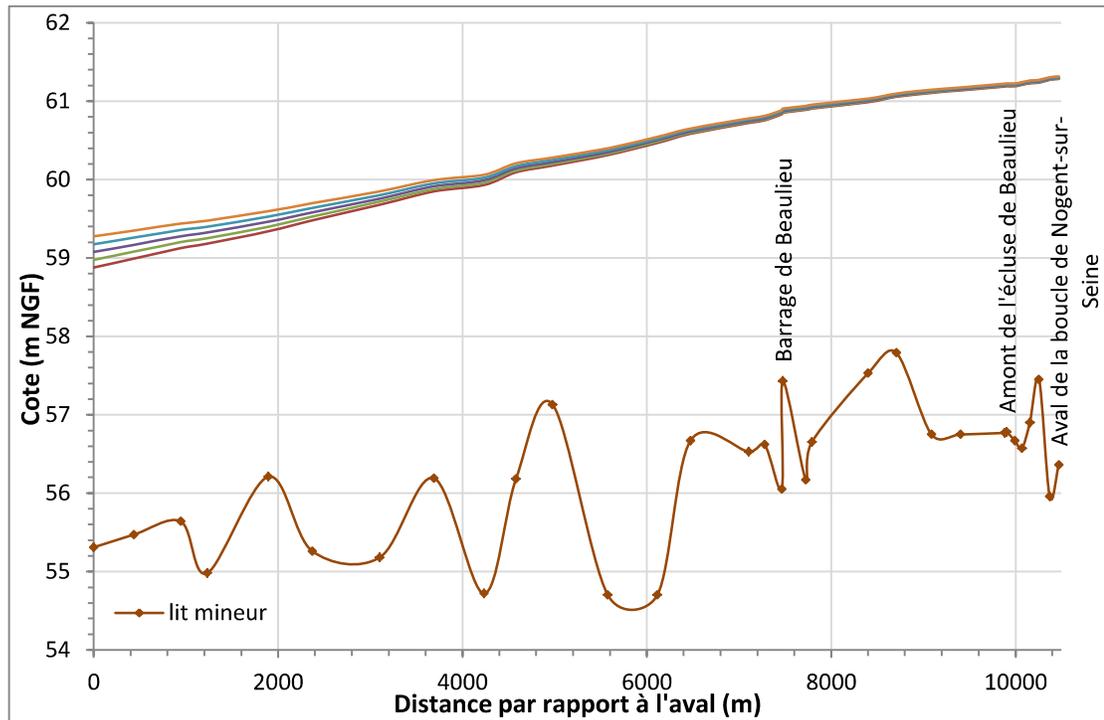
### 3.4. INFLUENCE DE LA CONDITION AVAL

Le secteur d'étude étant très peu pentu, l'influence de la condition aval remonte loin à l'amont. Le modèle a été construit en s'étendant au maximum à l'aval du barrage afin de limiter cette influence. Une ligne d'eau a été calculée pour une condition aval égale à la hauteur normale avec un débit de 150 m<sup>3</sup>/s. Cette ligne d'eau a servi de référence pour estimer l'influence de la condition aval. Quatre lignes d'eau ont alors été calculées pour des conditions aval différentes. La Fig. 39 ci-dessous présente les lignes d'eau calculées, avec au milieu la ligne d'eau référence.

**Reconstruction du Barrage de Beaulieu**

MISSION DE MAITRISE D'OEUVRE

RAPPORT D'ETUDE PRELIMINAIRE

**Fig. 39. Influence de la condition aval sur la ligne d'eau**

Le Tabl. 23 - ci-dessous présente les écarts pour différents aux niveaux des enjeux.

**Tabl. 23 - Influence de la condition aval sur la ligne d'eau**

Débits (m <sup>3</sup> /s)	Cote aval (m NGF)	Ecart (cm)	Cote amont barrage (m NGF)	Ecart (cm)	Cote amont écluse (m NGF)	Ecart (cm)	Cote amont (m NGF)	Ecart (cm)
150	58.88	-20	60.85	-2	61.19	-2	61.28	-2
150	58.98	-10	60.86	-1	61.20	-1	61.29	-1
150	58.18	+10	60.89	+2	61.22	+1	61.31	+1
150	58.	+20	60.90	+3	61.23	+2	61.32	+2

Les résultats montrent que l'influence de la condition aval est faible aux abords du barrage, de l'écluse et de l'aval de Nogent-sur-Seine. La condition aval amène une incertitude de l'ordre du centimètre au droit du barrage, il est donc considéré que le modèle s'affranchit de l'influence de la condition aval.