



MISSION COMPLEMENTAIRE MC1

ETUDES HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

RIVIERE DE L'ORNAIN – Barrages de Mussey, Chanteraine, Saint- Joire et de Houdelaincourt

Novembre 2022



1	INTRODUCTION	4
2	RAPPEL SUR LES CARACTERISTIQUES DES BARRAGES	6
2.1	BARRAGE DE MUSSEY	6
2.2	BARRAGE DE CHANTERAIN	6
2.3	BARRAGE DE SAINT-JOIRE	7
2.4	BARRAGE DE HOUDELAINCOURT	7
3	HYDROLOGIE.....	9
3.1	DEBITS DE L'ORNAIN AU DROIT DES BARRAGES.....	9
3.1.1	<i>Stations hydrométriques</i>	<i>9</i>
3.1.2	<i>Régime de l'Ornain</i>	<i>9</i>
3.2	DEBITS CARACTERISTIQUES.....	10
4	ETUDE HYDRAULIQUE.....	16
4.1	RAPPELS DE L'ETUDE D'INGEROP-GEOS (2015)	16
4.1.1	<i>Barrage de Mussey.....</i>	<i>16</i>
4.1.2	<i>Barrage de Chanteraine</i>	<i>19</i>
4.1.3	<i>Barrage de Saint-Joire</i>	<i>20</i>
4.1.4	<i>Barrage de Houdelaincourt.....</i>	<i>22</i>
4.1.5	<i>Analyse des modèles hydrauliques au regard des compléments de mission à effectuer</i>	<i>24</i>
4.2	MODELISATIONS HYDRAULIQUES	25
4.2.1	<i>Point méthodologique préliminaire POUR LES MODELISATIONS HYDRAULIQUES</i>	<i>25</i>
4.2.2	<i>Résultats pour le barrage de Mussey</i>	<i>26</i>
4.2.3	<i>Résultats pour le barrage de Chanteraine.....</i>	<i>39</i>
4.2.4	<i>Résultats pour le barrage de Saint-Joire</i>	<i>50</i>
4.2.5	<i>Résultats pour le barrage de Houdelaincourt</i>	<i>62</i>
5	CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	75
ANNEXES		77



Indice	Date	Objet modification	Auteur	Vérificateur
0	23/11/2022	Première émission	G.TUAL / A. MAYAU	WYTTEBACH
A	30/11/2022	2 ^{ème} émission	A. MAYAU	WYTTEBACH

Ce document contient 82 pages + 2 annexes



1 INTRODUCTION

Les barrages de Mussey, Chanteraine, Saint-Joire et Houdelaincourt sont implantés au fil de l'Ornain et permettent d'assurer l'alimentation du canal de la Marne au Rhin Ouest dans le département de la Meuse (55).

Ils font partie d'un programme de restauration engagé par VNF sur plusieurs années et dont le principal objectif est d'optimiser la gestion hydraulique des plans d'eau.

La maîtrise d'œuvre de ce programme de restauration a été attribué en 2014 au groupement d'INGEROP et de ces partenaires.

Le programme de restauration de ces barrages consiste en :

- Mussey : reconstruction du barrage en place, équipé de 3 passes à clapet. L'actuel passe à poissons sera détruite ainsi que les vannes de décharge en rive gauche. Une nouvelle passe à poisson sera construite en rive gauche. Pour ce barrage, un scénario bis est étudié sur la création d'une microcentrale hydroélectrique en rive gauche du barrage, située entre le barrage et la future passe à poisson.
- Chanteraine : nouveau barrage équipé de 3 passes à clapet à quelques dizaines de mètres en amont de l'existant en place du barrage. Une passe à poisson sera construite en rive gauche. L'ancien barrage sera entièrement détruit.
- Saint-Joire : reconstruction du barrage en place, équipé de 2 passes à clapet. Les vannes de décharges en rive droite seront détruites. Une passe à poisson sera construite en rive droite.
- Houdelaincourt : reconstruction du barrage en place, équipé de 2 passes à clapet. Les vannes de décharges en rive droite seront conservées. Une passe à poisson sera construite en rive droite.

Le présent rapport d'étude hydrologique et hydraulique s'intègre au stade AVP. Il fait suite à celui de GEOS réalisé en 2015 au stade Diagnostic.

Il a pour objectifs de réaliser :

1. La mise à jour de l'hydrologie de crue et l'intégration des éléments d'étude d'AQUASCOP (2020) sur les débits d'étiage. Ces débits serviront de données d'entrée pour les modélisations hydrauliques. Les débits estimés sont les suivants : Débit minimum biologique estival, module, double du module, et les débits de crues Q2, Q5, Q10, Q20, Q50 et Q100 ;

2. La mise à jour et la complétude de l'étude hydraulique et des modélisations hydrauliques 1D en régime stationnaire pour la validation hydraulique des projets. Elle comprend :

- La reprise des 4 modèles HEC-RAS 1D de GEOS pour la simulation des débits mis à jour à l'état initial ;
- La modélisation de l'état en phase travaux avec la détermination des cotes de batardeaux de chantier ;
- La modélisation de l'état projet en phase d'exploitation afin de vérifier la débitance des ouvrages restaurés ;
- La modélisation de l'état projet lors d'une opération de maintenance (avec une passe batardée).



La Figure 1 localise les barrages de l'Ornain.

Figure 1 : Localisation des barrages sur L'Ornain et des stations hydrométriques



2 RAPPEL SUR LES CARACTÉRISTIQUES DES BARRAGES

2.1 BARRAGE DE MUSSEY

Le barrage de Mussey comporte (de la rive gauche vers la rive droite) :

- Un vannage de décharge comprenant quatre vannes levantes à crémaillère en rive gauche. Chaque vanne a une largeur d'environ 2 m et une hauteur de 1 m ;
- Une passe à poissons de 17,15 m de long et de 2,8 m de large environ ;
- Un seuil fixe déversoir de 37,2 m de large avec des réhausses en bois en rive droite d'une hauteur de 2 fois 0,25 cm.

Le vannage de décharge et le seuil sont prolongés par un coursier béton.



Figure 1 : Photographie du barrage de Mussey (état initial)

Le barrage de Mussey présente deux chutes : une au droit du seuil, et la seconde à l'aval de la passe vannée. Deux fonctionnements hydrauliques sont donc attendus : à faible débit, la chute aval est dénoyée, il en va de même pour la chute amont. Pour les plus gros débits, la chute aval est noyée.

2.2 BARRAGE DE CHANTERAIN

Le barrage de Chanteraine comporte (de la rive gauche vers la rive droite) :

- Une passe à aiguilles en rive gauche, surmontée d'une passerelle démontable sur fermettes escamotables. Sa largeur est d'environ 16 m et sa hauteur de 2,25 m ;
- Un vannage à 3 clapets en rive droite, surmonté d'une passerelle fixe. Chaque clapet a environ une largeur de 7,6 m et une hauteur de 1,35 m ;
- 3 piles qui séparent les éléments précédemment listés. Les deux piles séparant les passes ont des largeurs comprises entre 0,4 m et 0,45 m et une longueur de 5 m. La culée, séparant les passes du barrage à aiguilles, a une largeur de 1,48 m. et une longueur d'environ 4,9 m.



Figure 2 : Ouvrage de Chanteraine

2.3 BARRAGE DE SAINT-JOIRE

Le barrage de Saint-Joire comporte (de la rive gauche vers la rive droite) :

- un seuil en rive gauche de 17.5 m de long pouvant être rehaussé de 50 cm par des volets escamotables ;
- une pile qui sépare le seuil du vannage avec une largeur de 0,7 m et une longueur de 5 m ;
- un vannage en rive droite de 3.18 m de large pour 1.6 m de hauteur ;



Figure 3 : Seuil en rive gauche



Figure 4 : Vannage en rive droite

2.4 BARRAGE DE HOUDELAINCOURT

Le barrage de Houdelaincourt comporte (de la rive gauche vers la rive droite) :

- un seuil en rive gauche de 18 m de long pouvant être rehaussé de 55 cm par des volets escamotables ;
- une pile qui sépare le seuil du vannage avec une largeur de 0,7 m et une longueur de 5 m ;
- un vannage en rive droite de 2.38 m de large pour 1.71 m de hauteur.



Figure 5 : Seuil en rive gauche



Figure 6 : Vannage en rive droite



3 HYDROLOGIE

3.1 DEBITS DE L'ORNAIN AU DROIT DES BARRAGES

3.1.1 STATIONS HYDROMETRIQUES

Pour déterminer les débits caractéristiques sur l'Ornain au droit des barrages de Mussey, Chanteraine, Saint-Joire et Houdelaincourt, les 3 stations hydrométriques d'amont en aval suivantes sont utilisées :

- Saint-Joire
- Tronville-en-Barrois
- Val d'Ornain

Elles sont illustrées sur la Figure 1 précédente.

Les caractéristiques des stations sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Libellé de la station	Code station	Surface du bassin versant (km ²)	Années d'ouverture
L'Ornain à Saint-Joire	H511231001	420	1999-2022
L'Ornain à Tronville-en-Barrois	H512234001	672	1988-2022
L'Ornain à Val d'Ornain	H512235002	840	1968-2022

Tableau 1 : Caractéristiques des stations limnimétriques à proximité des barrages (Source : Hydroportail)

Les données sont calculées sur 24 années à Saint-Joire, 34 à Tronville-en-Barrois et 54 à Val d'Ornain.

3.1.2 REGIME DE L'ORNAIN

Les débits mensuels aux 3 stations sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Libellé de la station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Module
L'Ornain à Saint-Joire	9,85	9,77	7,53	3,27	2,67	1,63	0,97	1,08	1,07	1,92	4,49	8,25	4,35
L'Ornain à Tronville-en-Barrois	18,5	17,3	13,1	7,03	4,13	2,60	1,86	1,58	1,98	3,64	9,09	16,0	8,03
L'Ornain à Val d'Ornain	24,9	25,0	18,8	9,60	6,65	4,08	2,86	2,66	2,77	5,07	11,4	20,6	11,1

Orange : Hautes eaux - Bleu : Basses eaux

Tableau 2 : Débits mensuels interannuels aux 3 stations hydrométriques

Le régime hydrologique de l'Ornain au droit des 3 stations est similaire. On constate qu'il existe une période de hautes eaux et une période de basses eaux.

La période des hautes eaux s'étend de décembre à mars (le débit moyen est alors équivalent à environ 2 fois le module interannuel). La période des basses eaux, s'étend sur les mois de juillet, août, septembre (le débit moyen est alors équivalent à environ ¼ du module interannuel).

La période des travaux s'étend sur plusieurs mois (plus de 6 mois). La période à privilégier pour la réalisation des travaux dans l'Ornain consistera à éviter la période de hautes eaux, donc favoriser la période entre avril et novembre.



3.2 DÉBITS CARACTÉRISTIQUES

Les débits caractéristiques (module, quinquennal sec, quinquennal humide, QMNA 5¹, VCN3j² et DMB³) aux droits des barrages ont été calculés lors d'une étude d'Aquascop, réalisée en janvier 2020.

Les résultats sont synthétisés dans le tableau ci-dessous :

		Mussey	Chanteraine	Saint-Joire	Houdelaincourt
Surface de bassin versant (km ²)		844	805	420	365
Q (m ³ /s)	Quinquennal sec	8.14	7.66	2.80	2.43
	Quinquennal humide	14.07	12.90	5.90	5.13
	QMNA 5	0.71	0.68	0.2	0.17
	VCN3 moyen	0.81	0.75	0.29	0.26
	DMB été	0.81	0.52	0.32	0.36
	DMB hiver	1.92	1.99	1.16	0.68

Tableau 3 : Surface de bassin versant et débits caractéristiques aux barrages (Source Aquascop)

Pour déterminer le module et le double du module au droit des barrages, nous avons considéré des apports proportionnels à la surface drainée aux données enregistrées par les stations limnimétriques les plus proches :

- Mussey

Les apports mesurés à la station de Val d'Ornain décrivent les apports du barrage de Mussey situé à 2 km plus en aval :

$$Q_{\text{Mussey}} = Q_{\text{Val d'Ornain}} \times \frac{S_{\text{Mussey}}}{S_{\text{Val d'Ornain}}}$$

- Chanteraine

Les débits mesurés aux stations de Val d'Ornain et de Tronville-en-Barrois décrivent les apports au barrage de Chanteraine situées respectivement à 4 km en aval et à 10 km en amont :

$$Q_{\text{Chanteraine}} = Q_{\text{Tronville}} + (Q_{\text{Val d'Ornain}} - Q_{\text{Tronville}}) \times \frac{(S_{\text{Chanteraine}} - S_{\text{Tronville}})}{(S_{\text{Val d'Ornain}} - S_{\text{Tronville}})}$$

- Saint-Joire

La station de Saint-Joire étant située sur le site même du barrage de Saint-Joire, les débits mesurés correspondent aux apports du barrage.

$$Q_{\text{Saint Joire}} = Q_{\text{Saint-joire station}}$$

¹ QMNA 5 : Débit mensuel à l'étiage atteint par le cours d'eau pour une année donnée calculé pour une durée de 5 ans.

² VCN3j : Débit minimal ou débit à l'étiage du cours d'eau enregistré pendant 3 jours consécutifs. Le VCN moyen est la valeur interannuelle du VCN.

³ DMB : Débit minimum biologique est un débit minimal garantissant en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces vivantes dans les eaux.



- Houdelaincourt

La station de Saint-Joire décrit également les apports du barrage de Houdelaincourt, situé à 7 km plus en amont.

$$Q_{\text{Houdelaincourt}} = Q_{\text{Saint-Joire}} \times \frac{S_{\text{Houdelaincourt}}}{S_{\text{Saint-Joire}}}$$

Les résultats issus des calculs présentés précédemment sont résumés dans le Tableau 4.

	Mussey	Chanteraine	Saint-Joire	Houdelaincourt
Module, m³/s	11.0	10.3	4.4	3.8
2*Module, m³/s	22.0	20.6	8.7	7.6

Tableau 3 : Calcul du module aux barrages (Source : Hydroportail)

Pour les débits de crues plusieurs approches ont été réalisées.

Tout d'abord, les débits SHYREG calculés à proximité des 4 barrages ont été synthétisés dans le Tableau 4.

	Mussey	Chanteraine	Saint-Joire	Houdelaincourt
Surface, km²	845.1	806.2	423.9	368.7
Crue de 2 ans, m³/s	88.4	84.1	36.5	32.9
Crue de 5 ans, m³/s	121.0	116.0	53.1	47.9
Crue de 10 ans, m³/s	148.0	141.0	66.6	60.2
Crue de 20 ans, m³/s	175.0	167.0	80.9	73.2
Crue de 50 ans, m³/s	215.0	206.0	102.0	91.8
Crue de 100 ans, m³/s	249.0	239.0	119.0	108.0

Tableau 4 : Débits de crues SHYREG à proximité des barrages, 1^{ère} approche (Source : INRAE)

Ensuite dans un deuxième temps, les débits de crues ont été déterminés à l'aide de la formule de Myer.

Pour ce faire, les formulations précédentes sont appliquées aux barrages de Mussey, Chanteraine, Saint-Joire et Houdelaincourt, sur le principe de proportionnalité compte tenu de la proximité des stations.

Le rapport des surfaces, pour les barrages de Mussey, Chanteraine et Houdelaincourt, est cependant mis à la puissance, $\gamma=0,8$.

Par exemple, pour le barrage de Mussey, cela donne :

$$Q_{\text{Mussey}} = Q_{\text{Val d'Ornain}} \times \left[\frac{S_{\text{Mussey}}}{S_{\text{Val d'Ornain}}} \right]^{0.8}$$



Les résultats obtenus avec la formule de Myer pour les 4 barrages sont présentés dans le tableau suivant :

	Mussey	Chanteraine	Saint-Joire	Houdelaincourt
Surface, km ²	844	805	420	365
Crue de 2 ans, m ³ /s	77.0	74.1	33.1	29.6
Crue de 5 ans, m ³ /s	104.4	99.7	41.4	37.0
Crue de 10 ans, m ³ /s	121.5	115.7	46.8	41.8
Crue de 20 ans, m ³ /s	139.5	132.5	52.1	46.6
Crue de 50 ans, m ³ /s	161.3	153.0	59.0	52.6
Crue de 100 ans, m ³ /s	178.0	168.6	64.0	57.2

Tableau 5 : Débits de crues aux barrages calculés avec la formule de Myer, 2^{ème} approche (Source : Hydroportail)

D'après le Tableau 5 et le Tableau 6, des différences, parfois importantes, peuvent être observées entre les deux premières approches. Mais, les surfaces de bassin versant entre la méthode SHYREG et la 2^{ème} approche diffère. Néanmoins, ces écarts sont assez faibles et ne peuvent expliquer ces disparités entre les valeurs de débit. Cependant, les valeurs de SHYREG sont calculées à l'aide de paramètres majorants les débits de crues.

Ensuite, il est intéressant de noter que la station de Saint-Joire ne possède que 24 années de données. Cela peut être insuffisant pour notamment calculer les crues supérieures à la décennale. Les débits de crues des barrages ayant été déterminés grâce aux mesures de la station de Saint-Joire peuvent donc être recalculés avec les données de la station de Val d'Ornain qui a 54 années de données.

La dernière approche de calcul des débits consiste donc à utiliser les données de la station de Val d'Ornain pour ajuster les débits aux barrages de Saint-Joire et Houdelaincourt.

On a donc :

$$Q_{Houdelaincourt} = Q_{Val\ d'Ornain} \times \left[\frac{S_{Houdelaincourt}}{S_{Val\ d'Ornain}} \right]^{0.8}$$
$$Q_{Saint-Joire} = Q_{Val\ d'Ornain} \times \left[\frac{S_{Saint-Joire}}{S_{Val\ d'Ornain}} \right]^{0.8}$$



Les débits de crue obtenus pour la 2ème approche et la 3ème approche sont reportés dans le tableau ci-dessous :

	Saint-Joire		Houdelaincourt	
	2ème approche	3ème approche	2ème approche	3ème approche
Surface, km²	420	420	365	365
Crue de 2 ans, m³/s	33.1	44.1	29.6	39.4
Crue de 5 ans, m³/s	41.4	59.7	37.0	53.4
Crue de 10 ans, m³/s	46.8	69.5	41.8	62.1
Crue de 20 ans, m³/s	52.1	79.8	46.6	71.4
Crue de 50 ans, m³/s	59.0	92.3	52.6	82.5
Crue de 100 ans, m³/s	64.0	101.9	57.2	91.0

Tableau 6 : Comparaison des débits de crues aux barrages avec la formule de Myer, 2ème et 3ème approche (Source : Hydroportail)

D'après le Tableau 5 et le Tableau 6, des différences, parfois importantes, peuvent être observées entre les deux premières approches. Mais, les surfaces de bassin versant entre la méthode SHYREG et la 2ème approche diffère. Néanmoins, ces écarts sont assez faibles et ne peuvent expliquer ces disparités entre les valeurs de débit. Cependant, les valeurs de SHYREG sont calculées à l'aide de paramètres majorants les débits de crues.

Ensuite, il est intéressant de noter que la station de Saint-Joire ne possède que 24 années de données. Cela peut être insuffisant pour notamment calculer les crues supérieures à la décennale. Les débits de crues des barrages ayant été déterminés grâce aux mesures de la station de Saint-Joire peuvent donc être recalculés avec les données de la station de Val d'Ornain qui a 54 années de données.

La dernière approche de calcul des débits consiste donc à utiliser les données de la station de Val d'Ornain pour ajuster les débits aux barrages de Saint-Joire et Houdelaincourt.

On a donc :

$$Q_{Houdelaincourt} = Q_{Val\ d'Ornain} \times \left[\frac{S_{Houdelaincourt}}{S_{Val\ d'Ornain}} \right]^{0.8}$$

$$Q_{Saint-Joire} = Q_{Val\ d'Ornain} \times \left[\frac{S_{Saint-Joire}}{S_{Val\ d'Ornain}} \right]^{0.8}$$



Les débits de crue obtenus pour la 2^{ème} approche et la 3^{ème} approche sont reportés dans le tableau ci-dessous :

	Saint-Joire		Houdelaincourt	
	2 ^{ème} approche	3 ^{ème} approche	2 ^{ème} approche	3 ^{ème} approche
Surface, km ²	420	420	365	365
Crue de 2 ans, m ³ /s	33.1	44.1	29.6	39.4
Crue de 5 ans, m ³ /s	41.4	59.7	37.0	53.4
Crue de 10 ans, m ³ /s	46.8	69.5	41.8	62.1
Crue de 20 ans, m ³ /s	52.1	79.8	46.6	71.4
Crue de 50 ans, m ³ /s	59.0	92.3	52.6	82.5
Crue de 100 ans, m ³ /s	64.0	101.9	57.2	91.0

Tableau 7 : Comparaison des débits de crues aux barrages avec la formule de Myer, 2^{ème} et 3^{ème} approche (Source : Hydroportail)

D'après le Tableau 7, des écarts non négligeables sont observés entre les deux approches basées sur la formule de Myer.

En prenant comme référence la station de Val d'Ornain, les débits aux barrages pour toutes les périodes de retour sont plus conséquents que ceux calculés en prenant la station de Saint-Joire comme référence.

A la suite de ces nombreuses analyses, les débits retenus pour chacun des barrages en vue des modélisations hydrauliques sont détaillés dans les tableaux suivants.

	Mussey	
	Débits retenus	Explications
Crue de 2 ans, m ³ /s	77.0	Débit calculé par la formule de Myer à partir de la station de Val d'Ornain. Cette station ayant plus de 50 ans de données, les débits calculés sont fiables.
Crue de 5 ans, m ³ /s	104.4	
Crue de 10 ans, m ³ /s	121.5	
Crue de 20 ans, m ³ /s	139.5	
Crue de 50 ans, m ³ /s	161.3	
Crue de 100 ans, m ³ /s	178.0	

Tableau 8 : Débits retenus au barrage de Mussey

	Chanteraine	
	Débits retenus	Explications
Crue de 2 ans, m ³ /s	74.1	Débit calculé par la formule de Myer à partir des stations de Val d'Ornain et de Tronville-en-Barois. Le barrage se trouvant entre les 2 stations, les débits pourront être représentatifs de la réalité du terrain.
Crue de 5 ans, m ³ /s	99.7	
Crue de 10 ans, m ³ /s	115.7	
Crue de 20 ans, m ³ /s	132.5	
Crue de 50 ans, m ³ /s	153.0	
Crue de 100 ans, m ³ /s	168.6	

Tableau 9 : Débits retenus au barrage de Chanteraine



Saint-Joire		
	Débits retenus	Explications
Crue de 2 ans, m ³ /s	33.1	Débit calculé par la formule de Myer à partir de la station de Saint-Joire. Les données de la station étant de plus de 20 ans, les débits inférieurs à la vicennale peuvent rendre compte des débits observés au barrage.
Crue de 5 ans, m ³ /s	41.4	
Crue de 10 ans, m ³ /s	46.8	
Crue de 20 ans, m ³ /s	78.8	Débit calculé par la formule de Myer à partir de la station de Val d'Ornain. A partir de la crue vicennale, les données à la station de Saint-Joire ne permettent pas d'appréhender précisément les débits au barrage à cause de la période d'observation trop courte. La station à Val d'Ornain dispose de plus de 50 ans de données et est donc plus fiable pour les crues importantes.
Crue de 50 ans, m ³ /s	92.3	
Crue de 100 ans, m ³ /s	101.9	

Tableau 10 : Débits retenus au barrage de Saint-Joire

Houdelaincourt		
	Débits retenus	Explications
Crue de 2 ans, m ³ /s	29.6	Débit calculé par la formule de Myer à partir de la station de Saint-Joire. Les données de la station étant de plus de 20 ans, les débits inférieurs à la vicennale peuvent rendre compte des débits observés au barrage.
Crue de 5 ans, m ³ /s	37.0	
Crue de 10 ans, m ³ /s	41.8	
Crue de 20 ans, m ³ /s	71.4	Débit calculé par la formule de Myer à partir de la station de Val d'Ornain. A partir de la crue vicennale, les données à la station de Saint-Joire ne permettent pas d'appréhender précisément les débits au barrage à cause de la période d'observation trop courte. La station à Val d'Ornain dispose de plus de 50 ans de données et est donc plus fiable pour les crues importantes.
Crue de 50 ans, m ³ /s	82.5	
Crue de 100 ans, m ³ /s	91.0	

Tableau 11 : Débits retenus au barrage de Houdelaincourt



4 ETUDE HYDRAULIQUE

4.1 RAPPELS DE L'ETUDE D'INGEROP-GEOS (2015)

Le rapport d'étude hydraulique d'Ingérop-Géos de 2015 avait pour objectif de déterminer les niveaux d'eau caractéristiques au droit des 4 barrages (niveaux aval et amont).

Ces niveaux d'eau avaient été déterminés pour une large plage de débit allant de l'étiage à la crue de temps de retour 20 ans pour les barrages de Mussey et de Houdelaincourt et pour une période de retour de 50 ans pour les barrages de Mussey et Chanteraine.

Les modèles hydrauliques ont été construits à l'aide du logiciel HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System), développé au Hydrologic Engineering Center par l'US Army Corps of Engineers.

Ce logiciel permet d'effectuer des calculs d'écoulements filaires à surface libre. En écoulements graduellement variés, les calculs de lignes d'eau sont basés sur l'équation de Bernoulli. Les pertes de charge sont évaluées par l'équation de Manning-Strickler pour le terme de frottement et par des coefficients de contraction-expansion. En écoulement brusquement varié, HEC-RAS utilise l'équation de quantité de mouvement. Celle-ci est appliquée aux ressauts, et dans certains cas, aux passages de ponts et aux confluences. L'ensemble des modélisations a été réalisé en écoulement stationnaire en injectant les débits calculés dans l'étude hydrologique d'Ingérop-Géos.

Les géométries, les conditions aux limites et l'étalonnage⁴ des modèles hydrauliques de 2015 des 4 barrages sont présentés dans les paragraphes suivants.

4.1.1 BARRAGE DE MUSSEY

4.1.1.1 Géométrie du modèle du barrage de Mussey

Le modèle numérique s'étend sur 1.7 km en aval du barrage. Il est établi sur la base des relevés de géomètre réalisés en mai 2015 par BEC2i sas Géomètres Topographes Associés (ci-dessous représentés en rose). La géométrie a été complétée au moyen des relevés de l'inspection subaquatique réalisée en octobre 2014 par SATIF OA au droit du barrage.

⁴ Les données de débit utilisées pour l'étalonnage des modèles hydrauliques ont été fournies par la DREAL Champagne-Ardenne. Elles sont issues de leur banque interne, traitées pour mai 2015, brutes pour octobre 2014.



La Figure 8 présente la localisation du barrage et des profils modélisés.



Figure 7 : Profils en travers modélisés au droit du barrage de Mussey

Le Pont de la RD2 a été pris en compte dans le modèle HEC-RAS. Il est situé 90 m en aval du barrage. Il s'agit d'un pont voûté long de 45 m. La géométrie du pont tient compte de six arches de 22 m de long dans l'Ornain.

4.1.1.2 Conditions limites et régime d'écoulement

Les débits caractéristiques et les débits de crue calculés dans l'étude hydrologique de GEOS sont renseignés comme conditions initiales de débit en amont du tronçon modélisé.

La hauteur critique est imposée comme condition limite en amont du modèle.

La hauteur normale est imposée comme condition limite aval du modèle avec une pente d'énergie approximée à la pente du canal ($S = 0.001 \text{ m/m}$).

4.1.1.3 Etalonnage

La photographie aérienne et les clichés pris sur site permettent de dégager un profil type de rugosité du canal au droit du barrage de Mussey :

	Description	Manning n
Lit mineur	Lit de graviers grossiers, régulier et peu sinueux	0.030-0.035
Lit majeur	Forêt et broussailles assez denses	0.080

Tableau 12 : Rugosité du lit – Barrage de Mussey

Les données relevées par le géomètre et lors de l'inspection subaquatique permettent d'étalonner le modèle. Les niveaux ont été mesurés respectivement les 6, 12 et 13 mai 2015, ainsi que du 20 au 22 octobre 2014. Les débits enregistrés à cette date par la DREAL à la station de Varney ont été utilisées pour estimer les débits au barrage de Mussey, selon la méthode décrite dans l'étude hydrologique. Les débits estimés au barrage figurent dans le Tableau 13.

Date	Varney
------	--------



06.05.2015	30.17 m³/s
12.05.2015	13.74 m³/s
13.05.2015	11.98 m³/s
20.10.2014	12.27 m³/s
21.10.2014	11.24 m³/s
22.10.2014	10.31 m³/s

Tableau 13 : Débits lors de l'inspection du géomètre et du plongeur – Barrage de Mussey

Ces débits sont de l'ordre du module (11 m³/s), sauf le débit du 06.05.2015 qui est plus élevé. Une valeur de débit moyen sur les 3 jours est retenue pour l'analyse des niveaux d'eau de l'inspection subaquatique. Les résultats de l'étalonnage sont donnés ci-dessous :

Emplacement	Date du relevé	Niveaux relevés (m NGF)	Niveaux simulés (m NGF)
Aval barrage	20-22.10.2014	160.55	160.55
Profil P2	06.05.2015	162.87	162.82*
Profil P4	12.05.2015	160.59	160.57
Profil P5		160.38	160.32
Profil P6	13.05.2015	159.26	159.31
Profil P7		158.95	158.94
Profil P8		158.19	158.19
Profil P9		157.84	157.84

* avec hypothèse de barrage semi-ouvert

Tableau 14 : Résultats de l'étalonnage – Barrage de Mussey

Le calage au niveau du profil P1 impose de faire une hypothèse sur l'état d'ouverture du barrage lors de la mesure. Le niveau relevé par le géomètre est de 162.89 m NGF le 12.05.2015, tandis que l'inspection subaquatique fait état d'un niveau de 162.71 m NGF. Pour les scénarii semi-ouverts, les réhausses de 50 cm sont mises en place et pour le scénario fermé les vannes sont complètement fermées et les réhausses sont fixées), les niveaux sont respectivement de 162.69 et 163.15 le 12.05.2015, et 162.65 et 163.11 pour le débit moyen des 3 jours d'inspection subaquatique. Les états mesurés correspondraient ainsi à un état intermédiaire, où seule une partie des réhausses est mise en place. Cette configuration a effectivement été observée lors de l'inspection subaquatique, comme en atteste la photographie ci-dessous issue du rapport correspondant.



Figure 8 : Etat d'ouverture intermédiaire observé lors de l'inspection subaquatique



4.1.2 BARRAGE DE CHANTERAINE

4.1.2.1 Géométrie du modèle

Le modèle numérique s'étend sur 2.2 km en aval du barrage. Il est établi sur la base des éléments suivants :

- relevés topographiques réalisés en décembre 1983 par l'équipe topographique du Service de la Navigation de Nancy, Arrondissement de Bar-Le-Duc et en novembre 1984 par la DDE 55 (ci-dessous en vert) ;
- relevés de géomètre plus récents réalisés en mai 2015 par BEC2i sas Géomètres Topographes Associés (ci-dessous en rose).
- La géométrie a été complétée par :
 - des inspections subaquatiques réalisées en octobre 2014 par SATIF OA au droit du barrage ;
 - un plan d'archive du barrage intitulé Barrage de Chanteraine – Elévation, Coupe, Détails, Ferrailage du radier.

La Figure 10 présente la localisation du barrage et des profils modélisés.

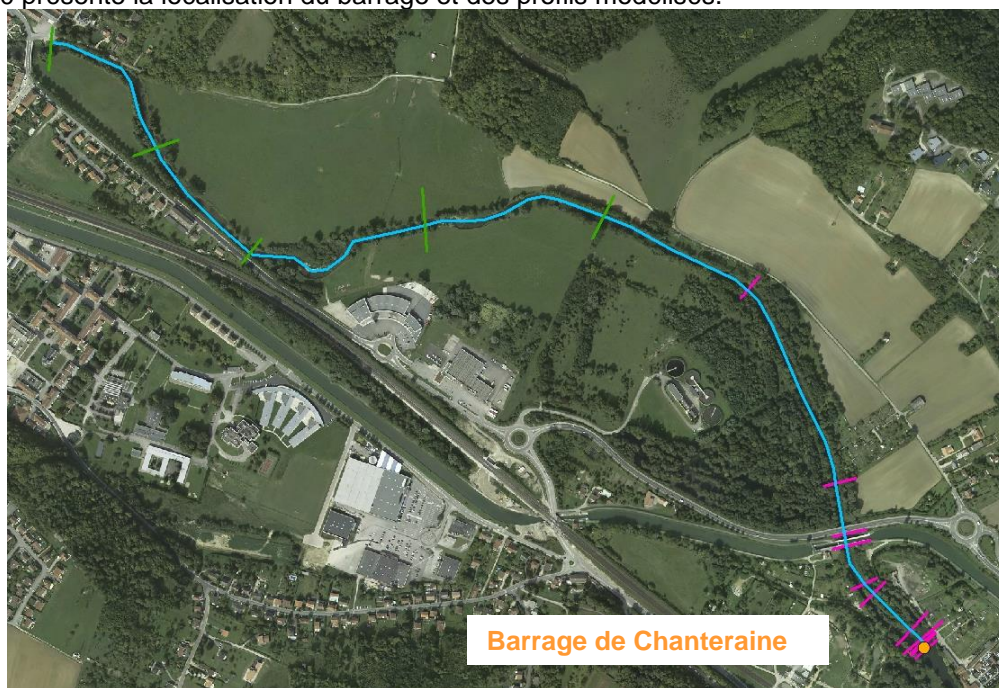


Figure 9 : Profils en travers modélisés au droit du barrage de Chanteraine

Les ouvrages suivants ont été pris en compte dans le modèle HEC RAS :

- Le Pont-Canal est situé 230 m en aval du barrage. Il s'agit d'un pont voûté long de 55 m. La géométrie du pont tient compte d'une largeur submersible de 10 m et de quatre arches dans l'Orne.
- Le Pont de la route départementale 694 est situé 250 m en aval du barrage, soit juste à l'aval du Pont Canal décrit précédemment. Il s'agit d'un pont à poutres, long de 45 m. La géométrie du pont tient compte d'une largeur submersible de 13 m, d'une pile centrale de 2 m de large et de deux bajoyers.

4.1.2.2 Conditions limites et régime d'écoulement

Les débits caractéristiques et les débits de crue calculés dans l'étude de GEOS sont renseignés comme conditions initiales de débit en amont du tronçon modélisé.



La hauteur critique est imposée comme condition limite en amont du modèle. La hauteur normale est imposée comme condition limite aval du modèle avec une pente d'énergie approximée à la pente du canal ($S = 0.002$ m/m).

4.1.2.3 Etalonnage

La photographie aérienne et les clichés pris sur site permettent de dégager un profil type de rugosité du canal au droit du barrage de Chanteraine :

	Description	Manning n
Lit mineur	Lit de graviers grossiers, régulier et peu sinueux	0.030-0.035
Lit majeur	Pâturage non vallonné avec des herbes courtes	0.030
	Forêt et broussailles denses	0.100

Tableau 15 : Rugosité du lit – Barrage de Chanteraine

Les données relevées par le géomètre permettent d'étalonner le modèle. Les niveaux ont été mesurés les 11, 12 et 19 mai 2015. Les débits enregistrés à cette date par la DREAL aux stations de Varney et Tronville figurent dans le tableau suivant, ainsi que les débits estimés au barrage à partir de ces données suivant la même méthode que dans l'étude hydrologique.

Date	Varney	Tronville	Barrage de Chanteraine
11.05.2015	15.31 m³/s	9.91 m³/s	14.19 m³/s
12.05.2015	13.67 m³/s	8.66 m³/s	12.63 m³/s
19.05.2015	6.6 m³/s	4.07 m³/s	6.07 m³/s

Tableau 16 : Débits lors de l'inspection du géomètre – Barrage de Chanteraine

Ces débits sont respectivement légèrement supérieurs au module (10.3 m³/s) et de l'ordre du débit quinquennal sec (7.66 m³/s). Les résultats de l'étalonnage sont donnés ci-dessous :

Emplacement	Date du relevé	Niveaux relevés géomètre (m NGF)	Niveaux simulés (m NGF)
Profil BA1	19.05.2015	177.44	177.46*
Profil BA2		176.12	176.15
Profil BA3		176.14	176.16
Profil P1	11.05.2015	176.42	176.41
Profil P2		176.34	176.36
Profil P3		176.17	176.16
Profil P4		176.17	176.14
Profil P5		175.98	175.99
Profil P6		175.91	175.91
Profil P7	12.05.2015	175.52	175.60
Profil P8		175.09	175.09

* avec hypothèse de barrage fermé

Tableau 17 : Résultats de l'étalonnage – Barrage de Chanteraine

4.1.3 BARRAGE DE SAINT-JOIRE

4.1.3.1 Géométrie du modèle

Le modèle numérique s'étend sur 2.3 km en aval du barrage. Il est établi sur la base des relevés topographiques réalisés en juillet 2001 par Thierry Dehave Géomètre Expert (ci-dessous en rose).

La géométrie a été complétée par :

- des inspections subaquatiques réalisées en octobre 2014 par SATIF OA au droit du barrage (ci-dessous en orange) ;



- des levés de géomètre plus récents réalisés en mai 2015 par BEC2i sas Géomètres Topographes Associés en amont du Pont de la route départementale (ci-dessous en vert) et au droit du barrage (ci-dessous en orange).

La figure ci-dessous présente la localisation du barrage et des profils modélisés.

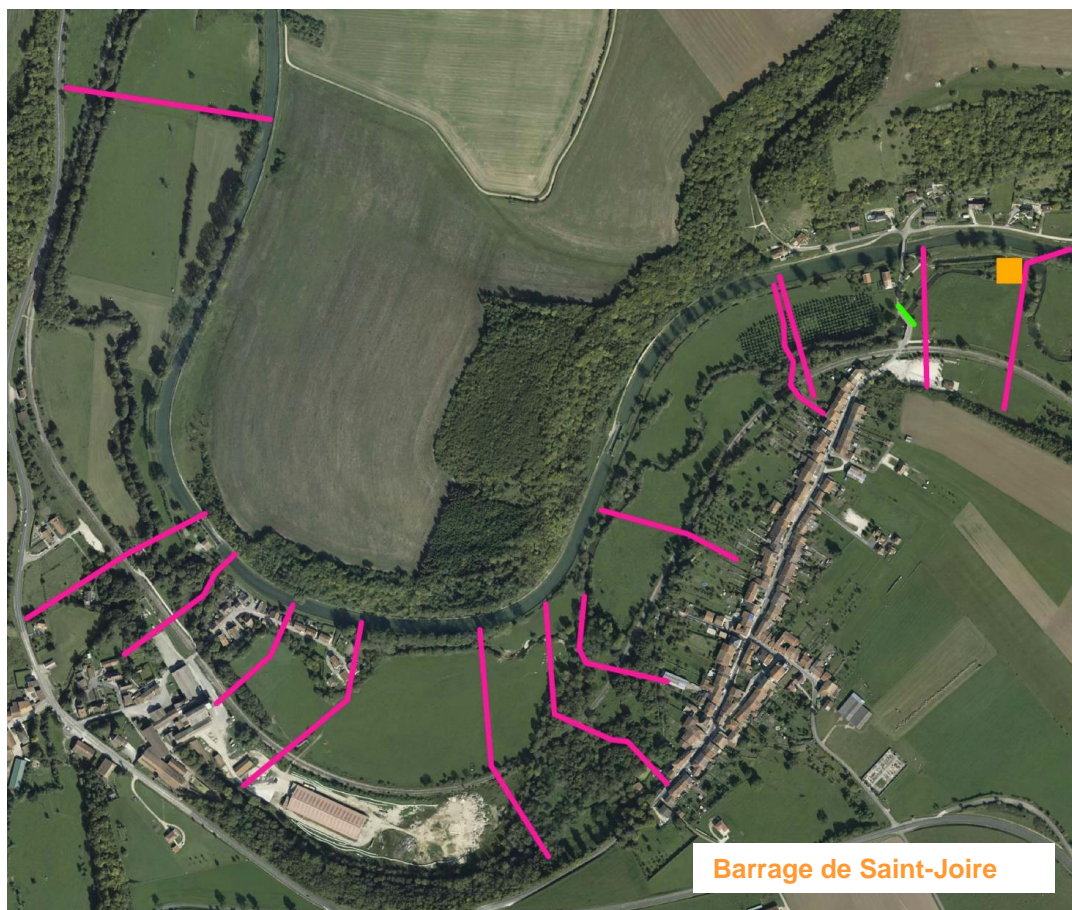


Figure 10 : Profils en travers modélisés au droit du barrage de Saint-Joire

Le Pont de la Route Départementale RD166 a été pris en compte dans le modèle HEC RAS. Il est situé 200 m en aval du barrage. Il s'agit d'un pont à poutres qui couvre une portée de 18 m.

La géométrie du pont tient compte d'une largeur submersible de 7.7 m, de 2 piles large de 0.9 m dans l'Orvain et de 2 bajoyers.

4.1.3.2 Conditions limites et régime d'écoulement

Les débits caractéristiques et les débits de crue calculés dans l'étude hydrologique de GEOS sont renseignés comme conditions initiales de débit en amont du tronçon modélisé.

La hauteur critique est imposée comme condition limite en amont du modèle. La hauteur normale est imposée comme condition limite aval du modèle avec une pente d'énergie approximée à la pente du canal ($S = 0.0017$ m/m).

4.1.3.3 Etalonnage

La photo aérienne permet de dégager un profil type de rugosité du canal au droit du barrage de Saint-Joire :



	Description	Manning n
Lit mineur	Encaissé, méandreux et bordé d'une rangée d'arbres	0.045
Lit majeur	Pâturage non vallonné avec des herbes courtes Forêt	0.033 0.060

Tableau 18 : Rugosité du lit – Barrage de Saint-Joire

Deux séries de mesures permettent l'étalonnage du modèle :

- Les données subaquatiques permettent de caler la rugosité du lit mineur. Les niveaux ont été mesurés le 22 et 23-10-2014. Les débits enregistrés à ces dates par la DREAL sont respectivement de 4.33 m³/s et 3.82 m³/s soit proches du module (4.35 m³/s)
- Les données du géomètre permettent l'étalonnage des berges. Les niveaux ont été mesurés le 06-05-2015. Le débit enregistré à cette date par la DREAL est de 14.56 m³/s soit supérieur au quinquennal humide (5.90 m³/s) et inférieur à la crue de 2 ans (33.1 m³/s)

Les résultats de l'étalonnage sont donnés ci-dessous :

	Niveaux relevés subaquatiques (m NGF)	Niveaux simulés (m NGF)
Aval barrage	261.52	261.47-261.51
Amont barrage	261.78	261.72-261.76
	Niveaux relevés géomètre (m NGF)	Niveaux simulés (m NGF)
Aval barrage	262.28	262.25
Amont barrage	262.15	262.05

Tableau 19 : Résultats de l'étalonnage – Barrage de Saint-Joire

4.1.4 BARRAGE DE HOUDELAINCOURT

4.1.4.1 Géométrie du modèle

Le modèle numérique s'étend sur 1.4 km en aval du barrage. Il est établi sur la base des relevés topographiques réalisés en juillet 2001 par Thierry Dehave Géomètre Expert (en rose sur la Figure 11).

La géométrie a été complétée par :

- des inspections subaquatiques réalisées en octobre 2014 par SATIF OA au droit du barrage (en orange sur la Figure 11) ;
- des levés géomètre plus récents réalisés en mai 2015 par BEC2i sas Géomètres Topographes Associés en amont des ponts de la route départementale et de la voie ferrée (en vert sur la Figure 11) et au droit du barrage (en orange sur la Figure 11).



La figure ci-dessous présente la localisation du barrage et des profils modélisés.

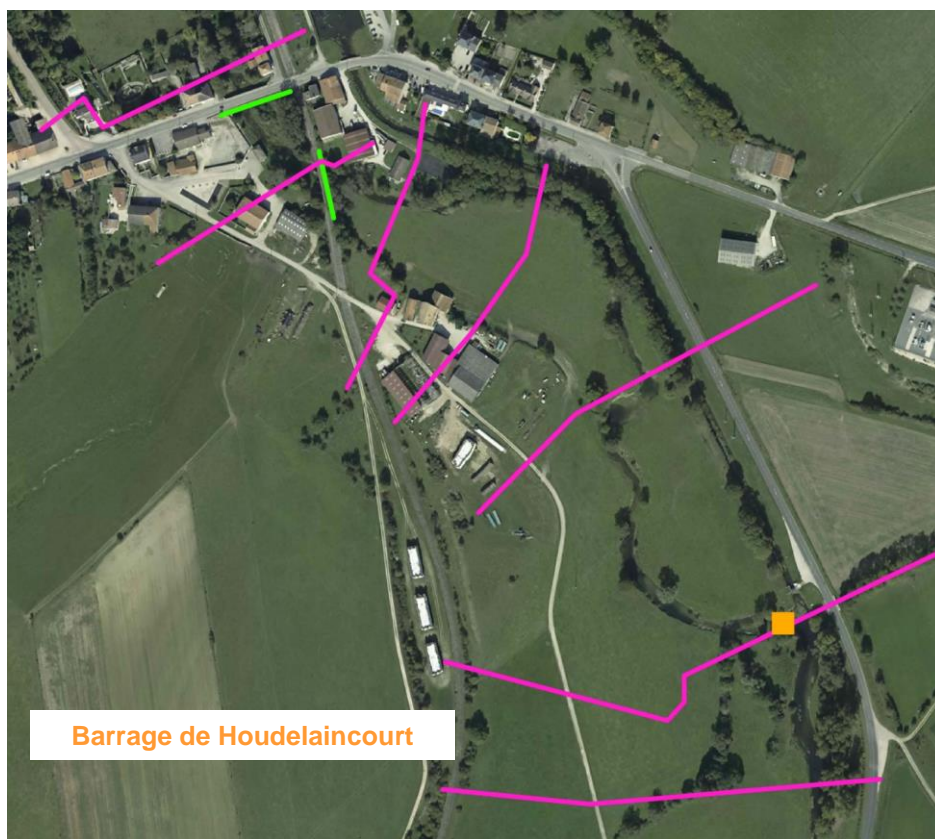


Figure 11 : Profils en travers modélisés au droit du barrage de Houdelaincourt

Les ouvrages suivants ont été pris en compte dans le modèle HEC RAS :

- Le Pont de la Voie Ferrée est situé 610 m en aval du barrage. Il s'agit d'un pont à poutres qui couvre une portée de 45 m. La géométrie du pont tient compte d'une largeur submersible de 5.2 m, de 3 piles de large de 1.7 m dans l'Ornain et de 2 bajoyers.
- Le Pont de la Route départementale est situé 110 m en aval du pont de la Voie Ferrée. Il s'agit d'un pont vouté qui couvre une portée de 47 m. La géométrie du pont tient compte d'une largeur submersible de 10.2 m, de 5 arcs de cercle dans l'Ornain, soit 4 piles et 2 bajoyers.

4.1.4.2 Conditions limites et régime d'écoulement

Les débits caractéristiques et les débits de crue calculés dans l'étude hydrologique de GEOS sont renseignés comme conditions initiales de débit en amont du tronçon modélisé.

La hauteur critique est imposée comme condition limite en amont du modèle. La hauteur normale est imposée comme condition limite aval du modèle avec une pente d'énergie approximée à la pente du canal ($S = 0.0022$ m/m).



4.1.4.3 Etalonnage

La photo aérienne permet de dégager un profil type de rugosité du canal au droit du barrage de Houdelaincourt :

Secteur	Description	Manning n
Lit mineur	Peu de méandres	0.040
Espace de liberté	Etroit et bordé d'arbres denses	0.200
Lit majeur	Pâturage non vallonné avec des herbes courtes	0.030

Tableau 20 : Rugosité du lit – Barrage de Houdelaincourt

Tableau 20 : Rugosité du lit – Barrage de Houdelaincourt

A l'aval du pont de la route départementale le lit mineur est beaucoup plus encaissé. Il lui ait ainsi attribué une rugosité de $n = 0.055$.

Deux séries de mesures permettent l'étalonnage du modèle :

- Les données subaquatiques permettent de caler la rugosité du lit mineur. Les niveaux ont été mesurés le 27-10-2014. Le débit enregistré à cette date par la DREAL est de 1.99 m³/s soit inférieur au module (3.8 m³/s). A ce débit, les vannes sont fermées et les réhausses levées.
- Les données du géomètre permettent l'étalonnage des berges. Les niveaux ont été mesurés le 05-05-2015. Le débit enregistré à cette date par la DREAL est de 13.97 m³/s soit supérieur au quinquennal humide (5.90 m³/s) et inférieur à la crue de 2 ans (29.6 m³/s). A ce débit de crue, les vannes sont levées mais on suppose que les réhausses n'ont pas encore été enlevées.

Les résultats de l'étalonnage sont donnés ci-dessous :

$Q = 1.99 \text{ m}^3/\text{s}$	Niveaux relevés subaquatiques (m NGF)	Niveaux simulés (m NGF)
Aval barrage	280.44	280.45
Amont barrage	281.60	281.61

$Q = 13.97 \text{ m}^3/\text{s}$	Niveaux relevés géomètre	Niveaux simulés (m NGF)
P5 (amont pont RD)	279.73	279.72
P4 (amont pont Voie Ferré)	279.85	279.84
P3 (aval barrage)	281.10	281.14
P1 (amont barrage)	281.82	281.79

Tableau 21 : Résultats de l'étalonnage – Barrage de Houdelaincourt

4.1.5 ANALYSE DES MODÈLES HYDRAULIQUES AU REGARD DES COMPLÉMENTS DE MISSION À EFFECTUER

Les modèles hydrauliques s'étendent sur plusieurs kilomètres à l'aval des barrages afin que les hypothèses émises pour déterminer la condition limite aval des modèles influent le moins possible sur les résultats au droit des barrages.

Cependant, peu de profils en travers et données bathymétriques sont disponibles en amont des barrages (entre 1 et 2 profils). Les conditions limites amont influencent donc fortement les lignes d'eau calculées par le modèle en amont des barrages. L'évaluation des incidences des projets de restauration des barrages sur les lignes d'eau en amont des barrages sera donc très restreinte (uniquement à l'amont direct du barrage).

L'étendue des profils en travers est relativement concentrée sur le lit mineur, voire sur le lit moyen pour les 2 barrages en aval du bassin versant (Mussey et Chanteraine). Elle n'est pas toujours suffisante pour prendre en compte le lit majeur. Les zones d'expansion de crue ne sont donc pas intégrées aux modèles.

On note également que l'étalonnage des modèles a été effectué sur des débits relativement ne correspondant pas à des situations de crue.



Dans la mesure du possible, des modifications des modèles existant seront réalisées avec la donnée disponible pour améliorer la représentativité des modèles.

4.2 MODELISATIONS HYDRAULIQUES

4.2.1 POINT MÉTHODOLOGIQUE PRÉLIMINAIRE POUR LES MODELISATIONS HYDRAULIQUES

Les modélisations hydrauliques à réaliser correspondent à :

- La simulation de l'état initial avec les débits mis à jour à pour chacun des barrages.

Si des modifications sont apportées sur les modèles établis par GEOS (2015), ces dernières seront précisées et justifiées.

Les débits simulés sont les suivants : Débit minimum biologique estival, module, 2 x module, et les crues Q2, Q5, Q10, Q20, Q50 et Q100.

Pour les petits débits, les vannes des barrages sont considérées comme fermées ou partiellement fermées afin de maintenir la retenue normale : vannes abaissées, avec réhausses sur le seuil pour les barrages de Mussey, Saint-Joire et Houdelaincourt. Pour le barrage de Chanteraine, les aiguilles sont mises en place. Pour les débits de crue, le barrage est considéré comme étant ouvert : vannes levées, sans réhausses sur le seuil pour les barrages de Mussey, Saint-Joire et Houdelaincourt. Pour le barrage de Chanteraine, les aiguilles sont retirées.

En l'absence de relevés géomètre, la donnée topographique utilisée est le RGE-Alti 1m. Le raccord entre les données du géomètre et le RGE Alti peut être difficile, cotes incohérentes entre les deux données.

Une vérification des résultats de modélisation pour la Q100 est réalisée par comparaison avec les cotes d'eau de référence du PPRI de l'Ornain amont de 2010 (barrages de Houdelaincourt et Saint-Joire) et aval de 2004 (barrages de Chanteraine et Mussey).

Pour chaque résultat de modélisation, les éléments suivants sont présentés :

- Un extrait modèle du profil en travers au droit du barrage ;
- Une courbe de débitance pour l'état initial ;
- Un graphique des lignes d'eau pour chaque crue pour l'état initial.

L'analyse est réalisée de l'amont du modèle jusqu'à une centaine de mètres en aval du barrage.

- La simulation de l'état en phase travaux pour chacun des barrages servant à la détermination des cotes de batardeaux de chantier.

Les profils en travers au droit des barrages sont modifiés pour prendre en compte l'état en phase travaux.

Pour chacun des projets, les chantiers sont organisés par demi-largeur de cours d'eau (intervention phasée sur une première section puis sur la seconde) afin de toujours laisser une section du lit mineur libre pour maintenir les écoulements de l'Ornain. La zone d'intervention est mise à sec à l'aide de batardeaux (palplanches).

Les batardeaux sont représentés dans les modèles HEC-RAS à l'aide de l'outil « obstruction » sur les profils en travers occupés par les zones de travaux. En effet cette option permet de définir des zones du profil en travers qui seront définitivement bloquées. Les obstructions diminuent la zone d'écoulement et ajoutent un périmètre mouillé lorsque l'eau entre en contact avec l'obstruction.

La configuration la plus pénalisante (section hydraulique la plus petite) est modélisée pour déterminer la cote des batardeaux.

Cette modélisation servant à définir les cotes des batardeaux, les crues Q2, Q5 et Q10 sont simulées.

Pour chaque résultat de modélisation, les éléments suivants sont présentés :

- Un extrait modèle du profil en travers au droit du barrage ;
- Un graphique des lignes d'eau pour les crues simulées pour l'état travaux ;



- Un tableau des incidences sur les lignes d'eau entre l'état initial et l'état travaux pour chaque crue ;
- La cote d'eau en situation batardée au droit des barrages.

L'analyse est réalisée de l'amont du modèle jusqu'à une centaine de mètres en aval du barrage.

- La simulation de l'état projet en phase d'exploitation pour chacun des barrages afin de vérifier la débitance des ouvrages restaurés.

Les profils en travers au droit des barrages sont modifiés pour prendre en compte la nouvelle géométrie des ouvrages.

Pour les petits débits, les clapets sont considérés comme atteignant la cote de régulation. Pour les débits de crue, les clapets sont considérés comme totalement ouverts.

Pour chaque résultat de modélisation, les éléments suivants sont présentés :

- Un extrait modèle du profil en travers au droit du barrage ;
- Une courbe de débitance pour l'état projet (comparée à celle de l'état initial) ;
- Un graphique des lignes d'eau pour chaque crue pour l'état projet ;
- Un tableau des incidences sur les lignes d'eau entre l'état initial et l'état projet pour chaque crue.

L'analyse est réalisée de l'amont du modèle jusqu'à une centaine de mètres en aval du barrage.

- La simulation de l'état projet lors d'une opération de maintenance (avec une passe batardée) pour chacun des barrages.

L'entretien régulier des passes des 4 barrages mobiles de L'Ornain nécessitera des batardages de maintenance. Ils permettront de mettre à sec la passe nécessitant des opérations d'entretien. Une seule passe sera batardée à la fois par barrage.

Des modélisations simulant le batardage d'une passe (la plus pénalisante) sont réalisées à partir du modèle intégrant l'état projet. L'outil « obstruction » de HEC-RAS est utilisé pour obstruer la passe.

Pour chaque résultat de modélisation, les éléments suivants sont présentés :

- Un extrait modèle du profil en travers au droit du barrage ;
- Un graphique des lignes d'eau pour les crues simulées pour l'état projet avec batardage de maintenance ;
- Un tableau des incidences sur les lignes d'eau entre l'état projet et l'état projet avec batardage de maintenance pour chaque crue.

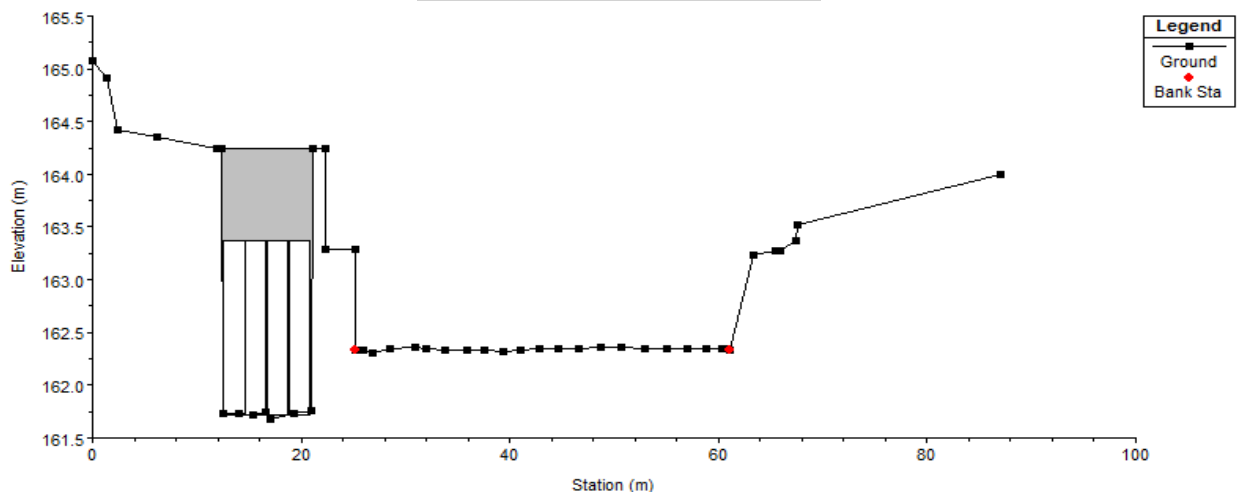
L'analyse est réalisée de l'amont du modèle jusqu'à une centaine de mètres en aval du barrage.

4.2.2 RESULTATS POUR LE BARRAGE DE MUSSEY

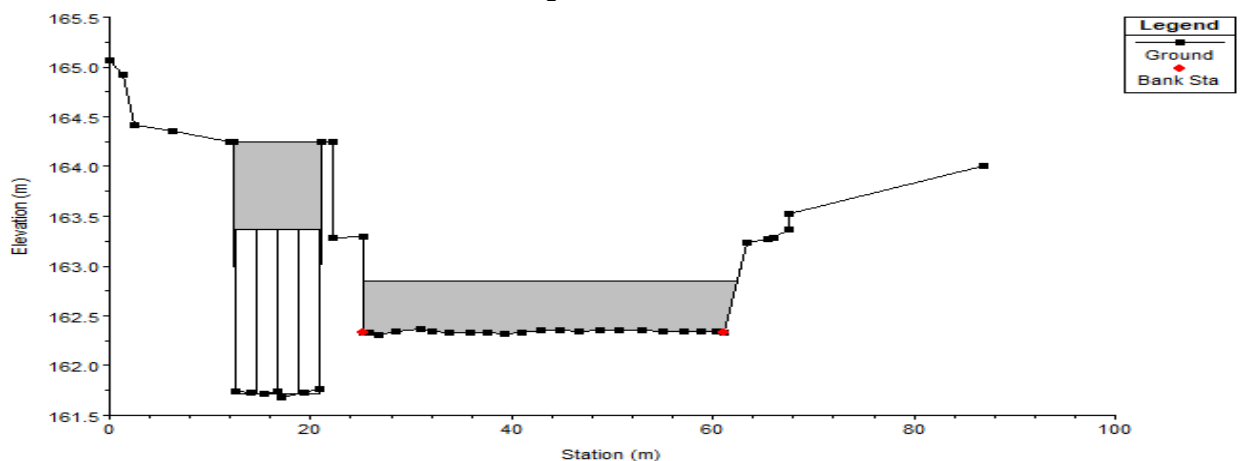
4.2.2.1 Modélisation de l'état initial

A l'état initial le barrage de Mussey est modélisé de deux manières différentes en fonction du débit d'injection à l'amont du modèle. Ces deux géométries sont représentées sur la Figure 12 et sur la Figure 13.

La Figure 12 présente la géométrie permettant de simuler le barrage quand les vannes sont relevées au maximum et quand les réhausses sont absentes. Cette configuration reproduit le fonctionnement du barrage lors des crues. La section d'écoulement est maximale pour pouvoir laisser passer un débit le plus important possible.



La Figure 13 présente la géométrie permettant de simuler le barrage quand les vannes peuvent s'abaisser de manière à maintenir la RN amont et quand les réhausses sont mises en place. Cette configuration reproduit le fonctionnement du barrage lors des faibles débits. La section d'écoulement est réduite pour pouvoir maintenir la retenue normale en amont du barrage.



La loi de débitance du barrage de Mussey à l'état initial est présentée sur le graphique ci-dessous :

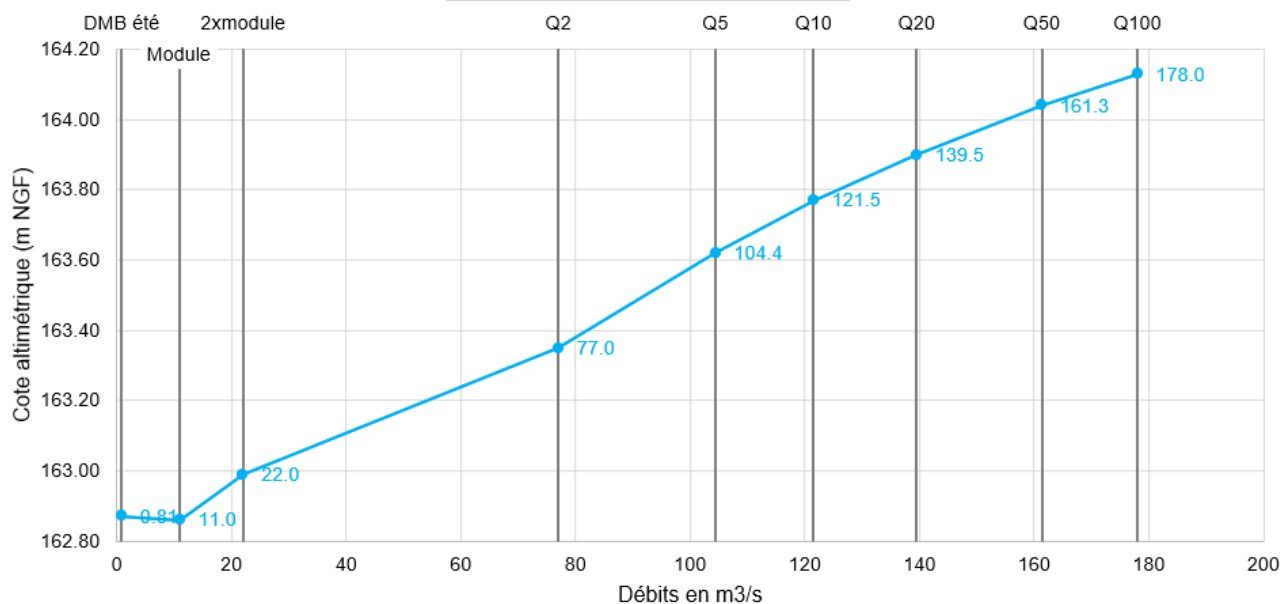


Figure 14 : Courbe de débitance du barrage de Mussey pour l'état initial

Cette courbe de débitance est extraite des résultats de modélisation hydraulique.

Pour simuler deux fois le module, les vannes sont complètement ouvertes et les réhausses sont posés. Le débit d'effacement pour maintenir la RN amont est de 27 m³/s, les vannes et réhausses sont enlevées. C'est-à partir de ce débit que le barrage ne peut plus maintenir la RN amont, la cote en amont du barrage devient supérieure à la RN amont. Il est difficile de représenter la gestion des vannes et réhausses pour maintenir actuellement la retenue normale amont puisque les réhausses ont une hauteur fixe et ne peuvent être manipulées simplement.

Les lignes d'eau pour chaque débit simulé à l'état initial sont présentées sur le graphique en Figure 15.

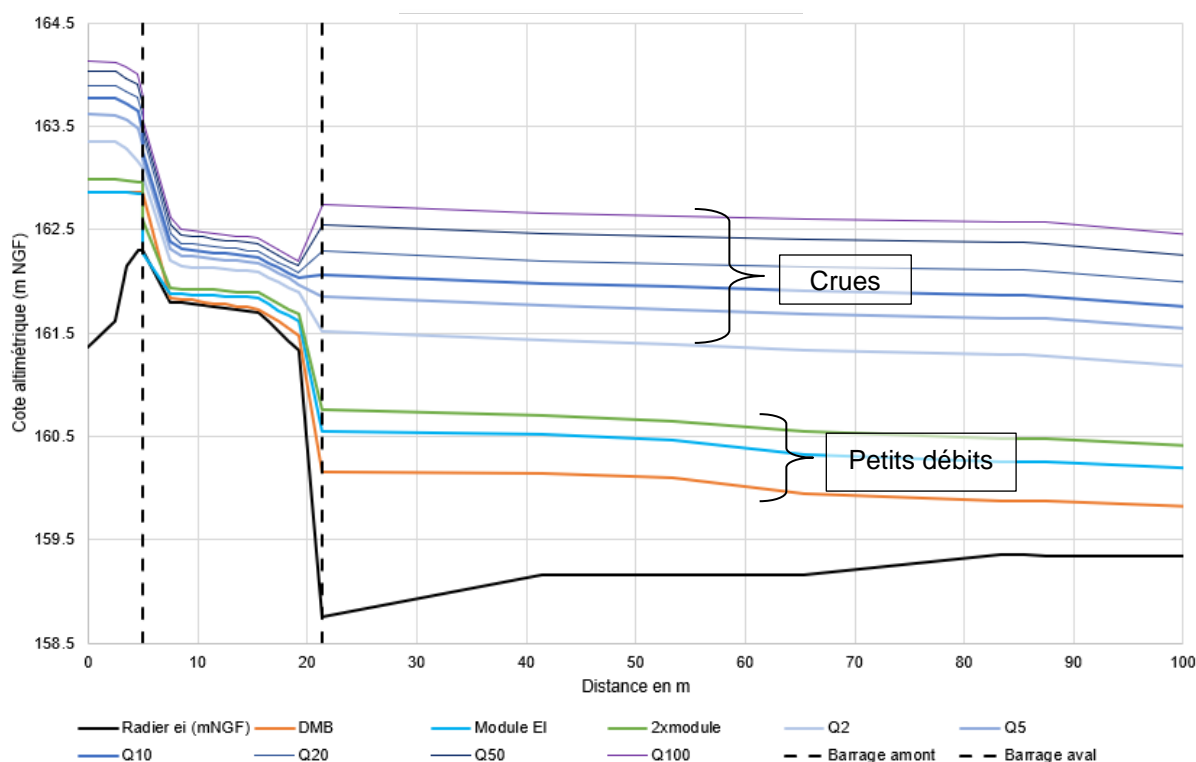


Figure 15 : Lignes d'eau au droit du barrage de Mussey à l'état initial

D'après la Figure 15, les hauteurs d'eau diminuent fortement au droit du barrage amont pour toutes les crues. Le barrage amont a donc un important impact sur la ligne d'eau qui s'établit à l'amont de ce dernier.

D'après la Figure 15, les hauteurs d'eau augmentent au niveau du barrage aval pour les crues et diminuent pour les faibles débits. On peut donc en déduire que le barrage aval est dénoyé pour les faibles débits. Pour les crues, le barrage aval est quasiment noyé, mais il a un impact sur la ligne d'eau. En effet, un ressaut peut être identifié à cet ouvrage.

Les cotes d'eau en amont et en aval du barrage de Mussey pour chacun des débits simulés sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

Situation hydrologique	Vannes	Valeurs de débits (m3/s)	Cote amont (m NGF)	Cote aval (m NGF)
DMB été	Semi-ouverte H =0,03 m	0.81	162.87	160.16
Module	Semi-ouverte H =0,48 m	11.0	162.86	160.55
Double du module	Ouverte	22.0	162.99	160.76
Q2	Ouverte	77.0	163.35	161.52
Q5	Ouverte	104.4	163.62	161.86
Q10	Ouverte	121.5	163.77	162.07
Q20	Ouverte	139.5	163.9	162.29
Q50	Ouverte	161.3	164.04	162.55
Q100	Ouverte	178.0	163.89	162.74

Tableau 22 : Récapitulatif des cotes d'eau à l'état initial en amont et en aval du barrage de Mussey

Pour les faibles débits, il est difficile de maintenir la RN amont ou en tout cas de la modéliser à cause des réhausses qui ont une hauteur fixe.



Le PPRI de l'Ornain aval est basé sur l'étude d'Hydrolac de février 1999. La cote de référence au droit du barrage n'est pas indiquée. Le débit de la crue de référence sur le secteur d'étude est de 236 m³/s soit plus important que le débit présentement estimé.

La Figure 16 présente la cartographie des cotes de référence du PPRI.

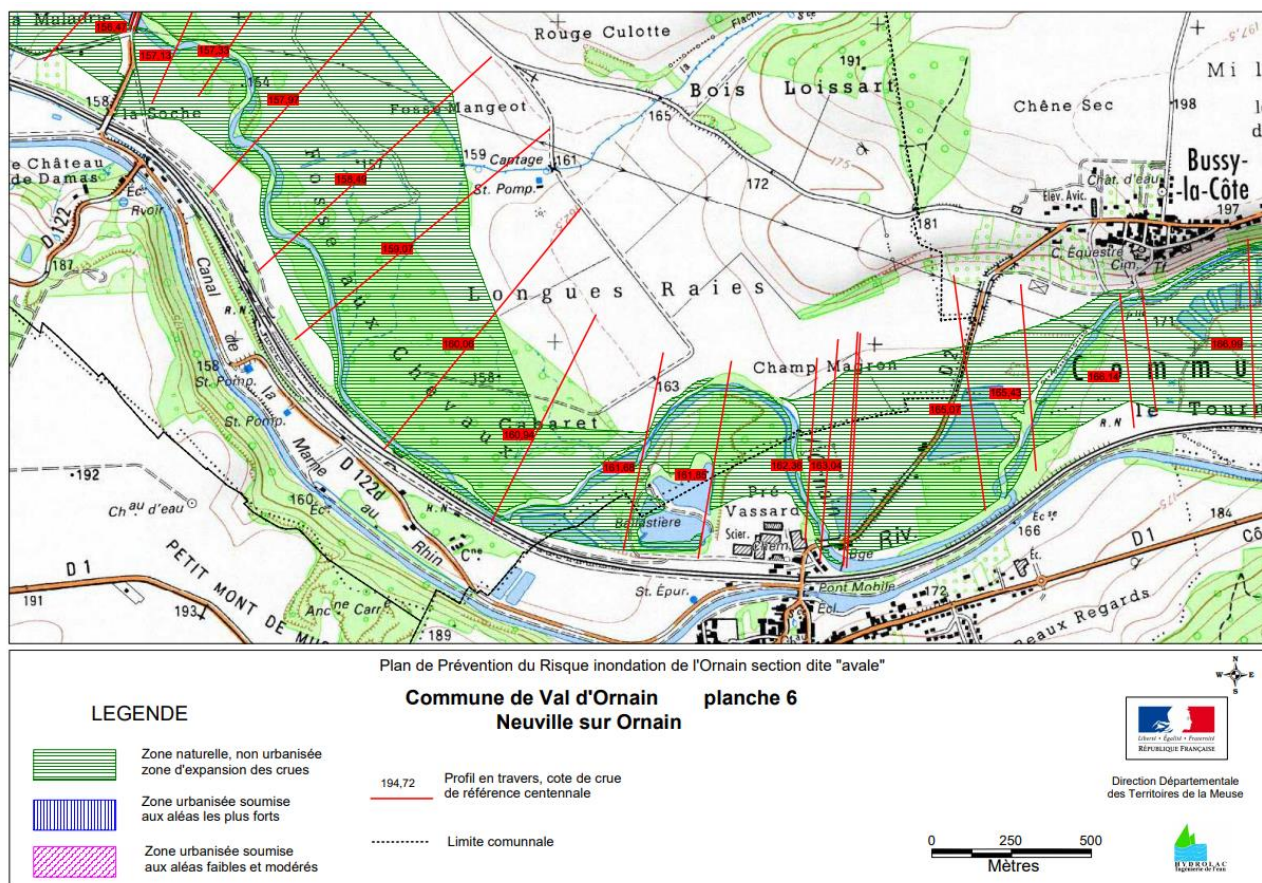


Figure 16 : Cartographie du PPRI de l'Ornain sur le secteur aval sur la commune de Val d'Ornain

Afin de vérifier le calage du modèle, une simulation avec le débit du PPRI a été réalisée. Les résultats sont présentés sur la Figure 17.

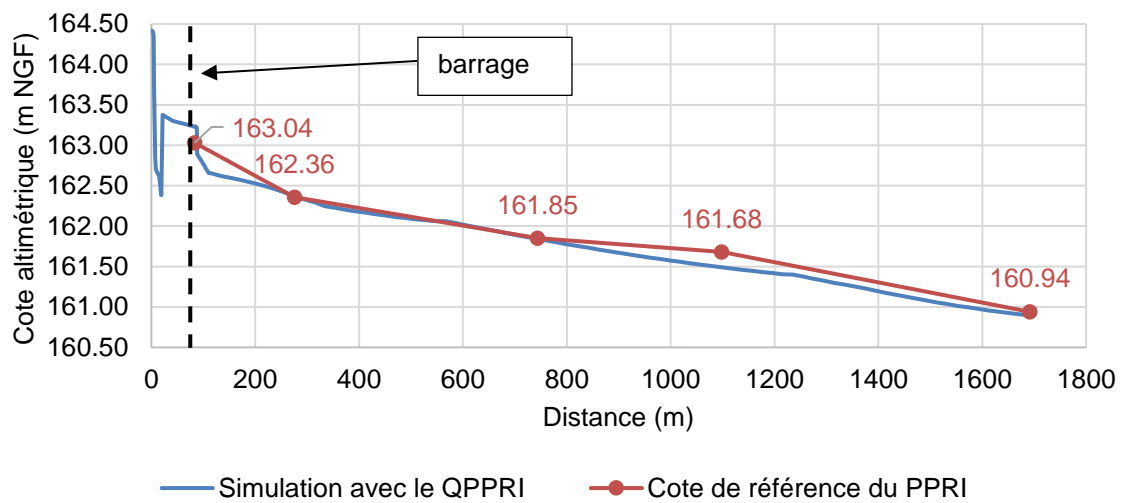


Figure 17 : Vérification du calage du modèle de Mussey sur le PPRI de l'Ornain

On observe que globalement les deux lignes d'eau sont très proches en aval du barrage sur les premiers 500 mètres. Au droit du barrage, on constate des différences de hauteurs d'eau. Mais d'après l'étude d'Hydrolac de février 1999 qui a conduit à la réalisation du PPRI, le modèle du PPRI présente des erreurs de représentation dans la zone du barrage. « Le résultat du calcul des conditions d'écoulement doit donc être considéré ici comme approximatif ». A la suite de ces explications au niveau du barrage, il semble que le calage valide le présent modèle.

4.2.2.2 Modélisation de la phase de travaux

Le phasage travaux du barrage de Mussey est composé de deux phases présentées sur la Figure 18.

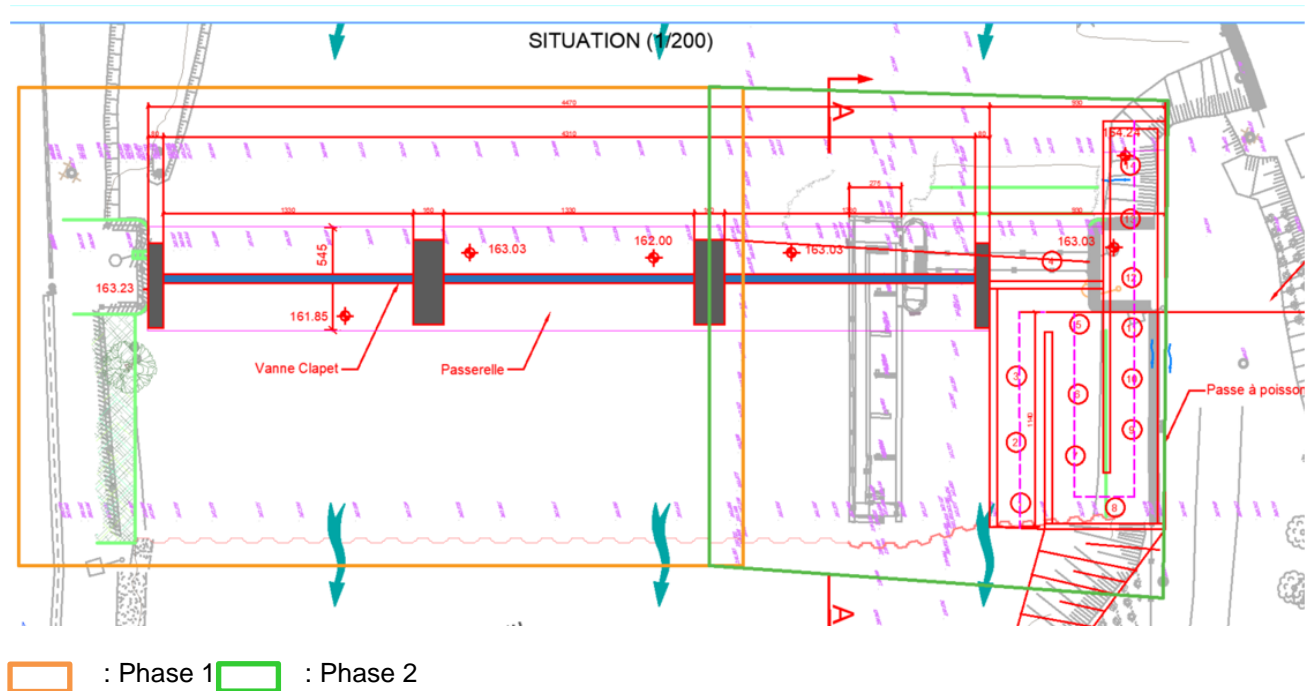


Figure 18 : Phasage des travaux du barrage de Mussey



La Phase 1 consiste en la réalisation des 2 passes en rive droite. Les écoulements se font au travers des vannes de décharge existantes et du reste du seuil. L'accès à la zone sera réalisé par un cadre temporaire. La Phase 2 consiste en la réalisation de la 3^{ème} passe, de la potentielle microcentrale hydroélectrique et de la passe-à-poisson en rive gauche. Les écoulements passeront par les 2 passes nouvellement réalisées. La mise hors d'eau des espaces de chantier est réalisée grâce à des batardeaux.

La phase 1 est la plus pénalisante du point de vue hydraulique. La section d'écoulement restante pour l'Ornain est plus réduite en phase 1 qu'en phase 2.

En phase travaux 1, le barrage de Mussey et le chantier sont représentés de la manière suivante :

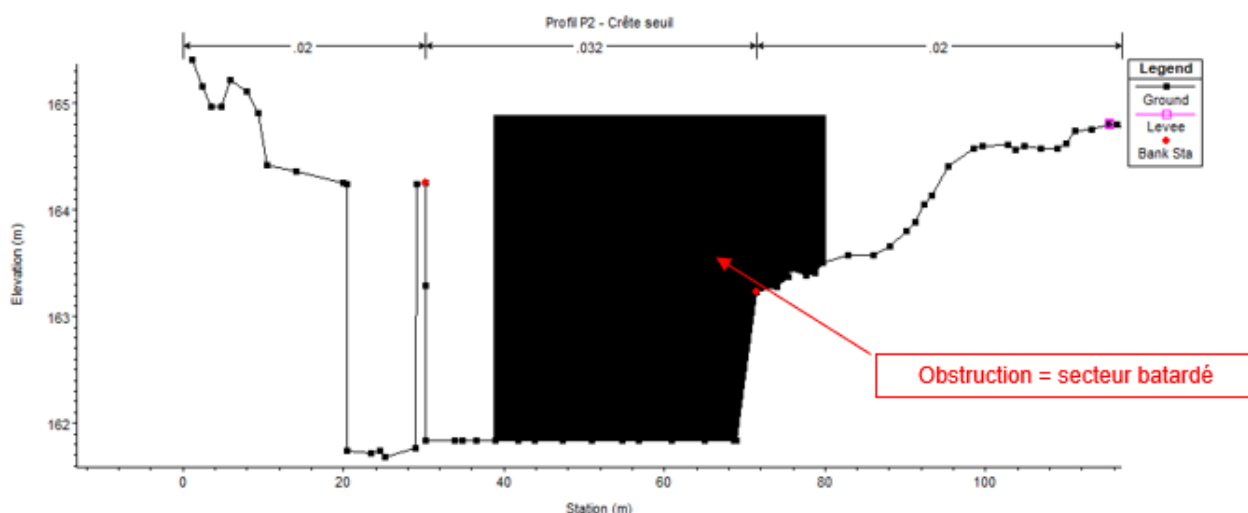


Figure 19 : Extrait modèle du profil en travers au droit du barrage de Mussey en phase travaux 1

Les lignes d'eau pour chaque débit simulé en phase travaux sont présentées sur le graphique en Figure 21 a).

Les cotes d'eau en amont et en aval du barrage de Mussey pour chacun des débits simulés en phase travaux et comparés à l'état initial sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

Situation hydrologique	Valeurs de débits (m ³ /s)	Cote amont (m NGF) Phase travaux	Différence par rapport à l'état initial (m)	Cote aval (m NGF) Phase travaux	Différence par rapport à l'état initial (m)
Q2	77.0	163.48	0.13	161.52	0
Q5	104.4	164.19	0.57	161.80	-0.06
Q10	121.5	164.61	0.84	161.99	-0.08
Q100	178.0	165.44	1.31	162.63	-0.11

Tableau 23 : Récapitulatif des cotes d'eau en phase travaux en amont et en aval du barrage de Mussey et comparaison avec l'état initial

Au droit de l'ouvrage, l'incidence maximale en crue est de :

- 0,13 m pour la Q2 en amont,
- 1,08 m pour la Q5 à 7,5 m,
- 0,85 m pour la Q10 à 7,5 m,
- 1,88 m pour la Q100 à 5 m.

L'incidence augmente dans le même sens que l'augmentation de la période de retour des événements de crues. L'évaluation des incidences en phase travaux 1 sur la débitance du barrage de Mussey est présentée en Figure 21 b).



Il est intéressant de noter que pour chaque débit de crue en phase travaux, le barrage a un important impact sur la ligne d'eau. Cet impact est plus important qu'à l'état initial. En effet, une importante chute peut être observée au niveau du barrage pour la phase travaux.

Au regard des incidences, les batardeaux seront dimensionnés pour prévenir l'inondation de la zone de chantier pour une crue Q5.

NOTA : Une marge de sécurité de 30 cm vis-à-vis de ces cotes d'eau devra être conservée pour prendre en compte les incertitudes de l'hydrologie (+10 cm), du modèle hydraulique (+10 cm) et les vagues en cas de vent (+10 cm).

4.2.2.3 Modélisation de la phase d'exploitation

En phase d'exploitation (état projet), le barrage de Mussey sera constitué de 3 nouvelles passes, fonctionnant chacune grâce à une vanne clapet. Chaque vanne clapet aura une hauteur d'environ 1 m et une largeur de 12,05 m. Lorsque les vannes seront totalement fermées, la cote de retenue atteindra 162,85 m NGF. Le fonctionnement de ce nouveau barrage est illustré sur la Figure 20.

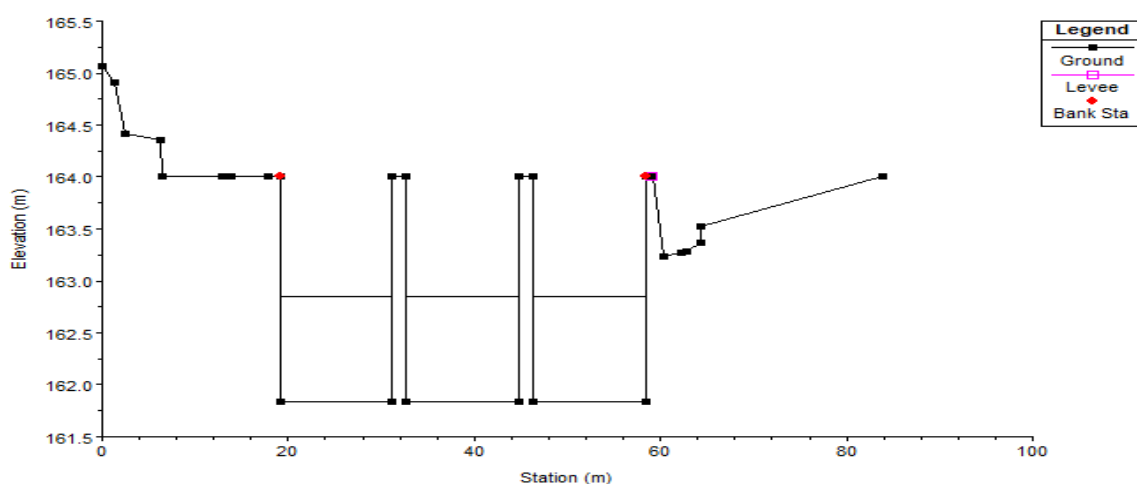
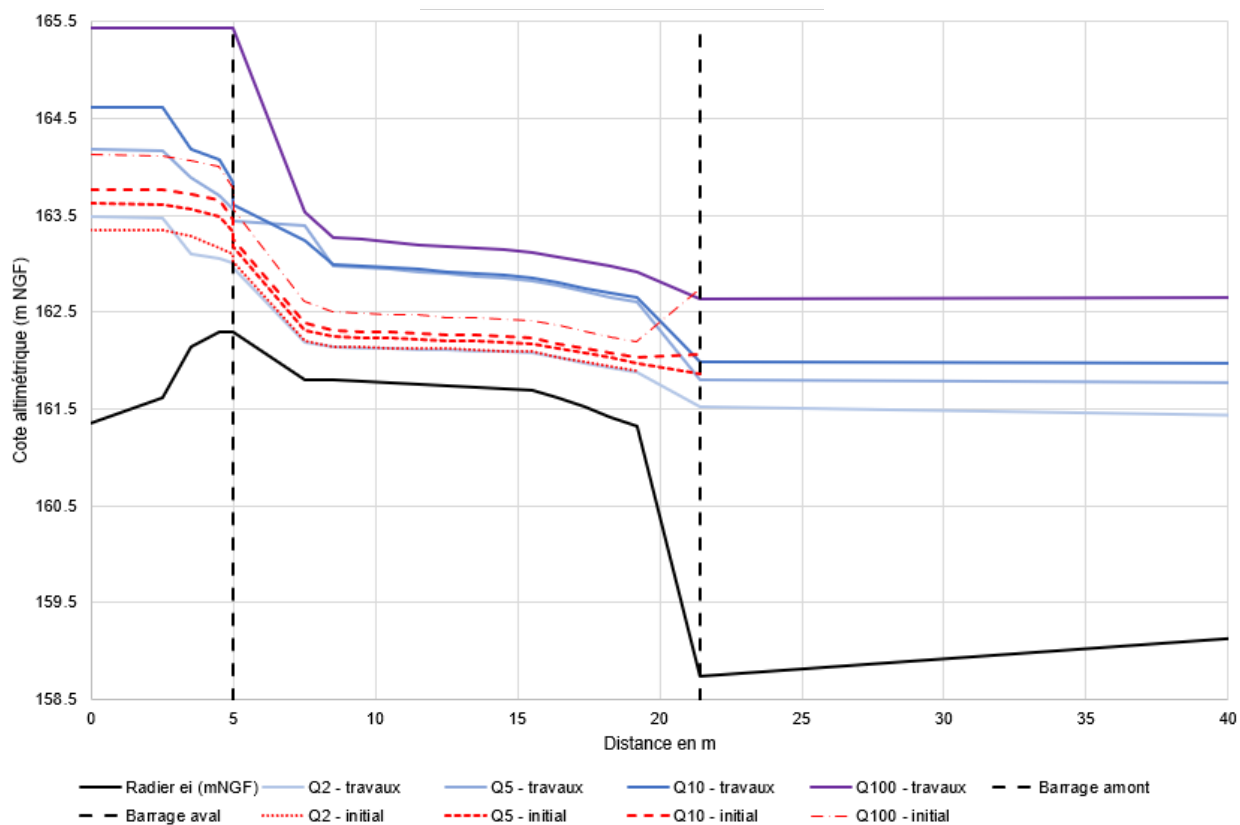


Figure 20 : Extrait modèle du profil en travers au droit du barrage de Mussey en phase d'exploitation

a) Lignes d'eau au droit du barrage de Mussey en phase travaux 1



b) Evaluation des incidences en amont du barrage de Mussey en phase travaux 1

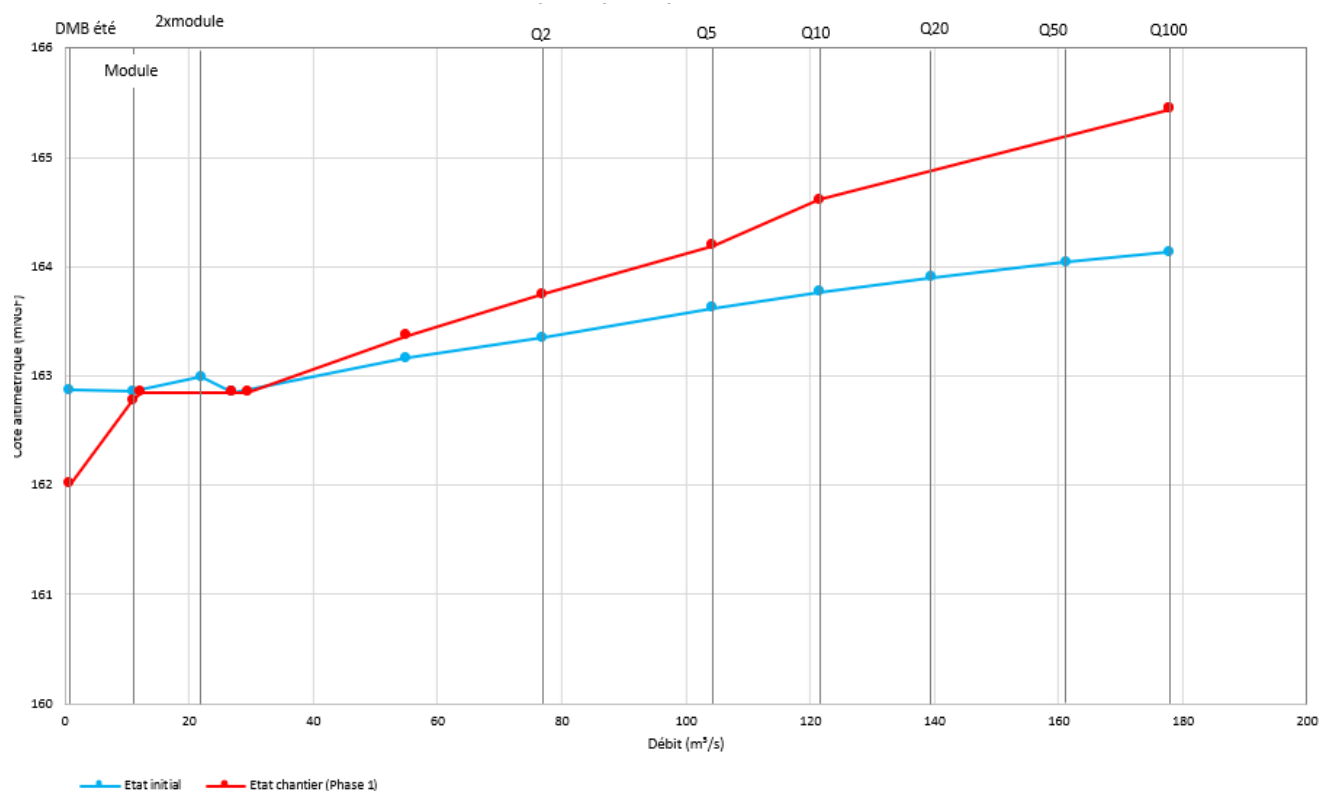


Figure 21 : Lignes d'eau au droit du barrage de Mussey en phase travaux





La potentielle future microcentrale hydroélectrique n'a pas été représentée lors de la modélisation de l'état travaux, l'état projet et l'état de maintenance.

En effet, lors des débits de crues, l'eau ne transite plus dans la centrale et passe uniquement par le barrage. Ne pas la représenter dans le modèle est sécuritaire pour la modélisation car c'est une surface d'écoulement qui n'est pas sollicitée lors des faibles débits.

Cette modélisation prend en compte les deux configurations pour le barrage de Mussey, avec et sans VLH selon le débit simulé.

Les lignes d'eau pour chaque débit simulé en phase d'exploitation sont présentées sur le graphique en Figure 22 a). D'après la Figure 22 a), l'évolution des lignes d'eau en état projet sont semblables à celles en état initial.

Les cotes d'eau en amont et en aval du barrage de Mussey pour chacun des débits simulés en phase d'exploitation et comparés à l'état initial sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

Situation hydrologique	Valeurs de débits (m ³ /s)	Cote amont (m NGF) Projet	Différence par rapport à l'état initial (m)	Cote aval (m NGF) Projet	Différence par rapport à l'état initial (m)
DMB été	0.81	162.85	-0.02	160.16	0
Module	11.0	162.85	-0.01	160.55	0
Double du module	22.0	162.85	-0.14	160.76	0
Q2	77.0	163.06	-0.29	161.52	0
Q5	104.4	163.31	-0.31	161.86	0
Q10	121.5	163.45	-0.32	162.07	0
Q20	139.5	163.60	-0.30	162.29	0
Q50	161.3	163.76	-0.28	162.55	0
Q100	178.0	163.89	-0.24	162.74	0

Tableau 24 : Récapitulatif des cotes d'eau en phase d'exploitation en amont et en aval du barrage de Mussey et comparaison avec l'état initial

D'après le tableau 24, la différence maximale entre l'état projet et l'état initial est de 32 cm pour la crue décennale. Cette incidence augmente avec le débit jusqu'à la crue Q10 puis diminue faiblement jusqu'à la crue Q100.

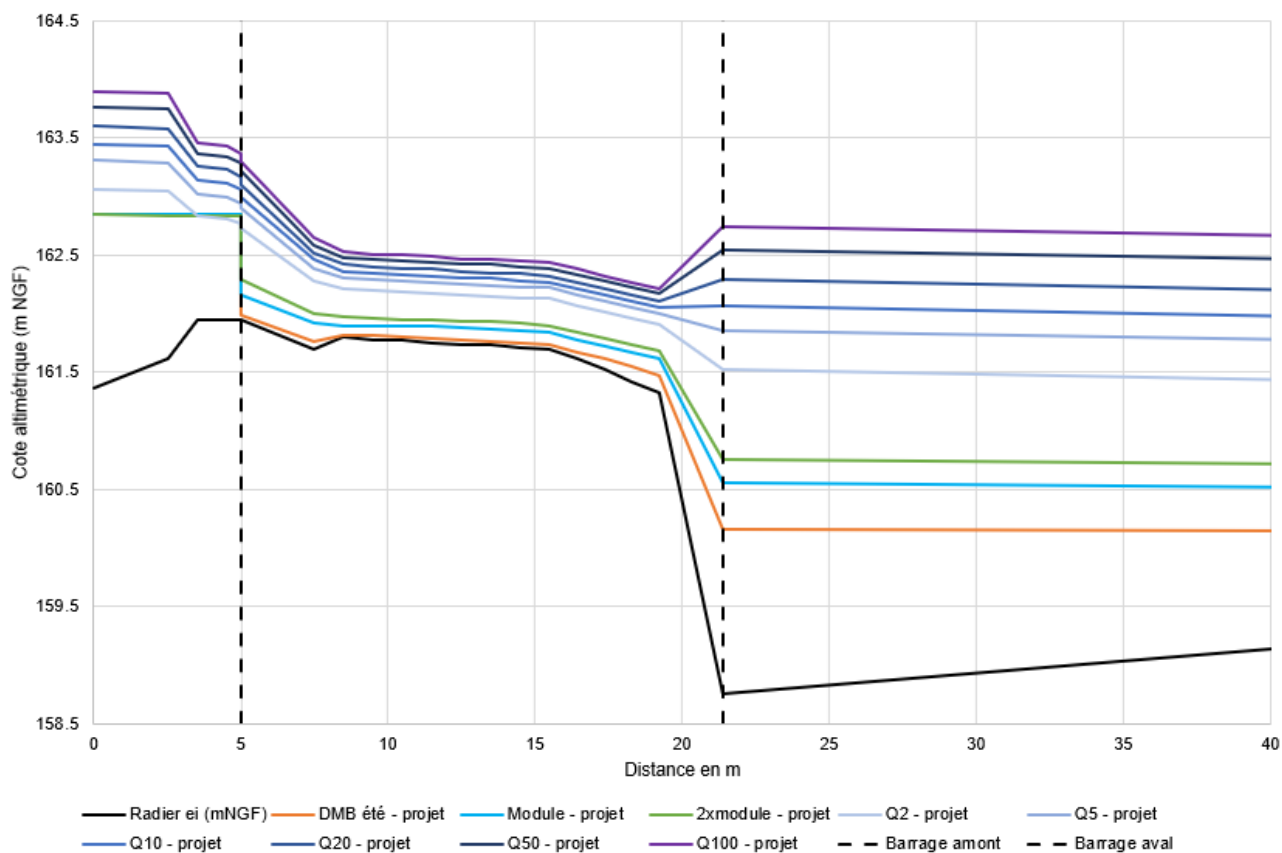
La nouvelle loi de débitance est déduite des modélisations hydrauliques de l'état projet . Elle est présentée en Figure 22 b).

La débitance du barrage à l'état projet augmente pour les débits de crue. En effet, il est possible de constater que le débit d'effacement augmente très fortement pour le barrage, il est de 55 m³/s.

Le projet n'augmentera pas les lignes d'eau en crue et par conséquent le risque d'inondation pour les enjeux sur le secteur d'étude.



a) Evaluation des lignes d'eau au droit du barrage en phase d'exploitation



b) Débitance du barrage de Mussey en phase d'exploitation

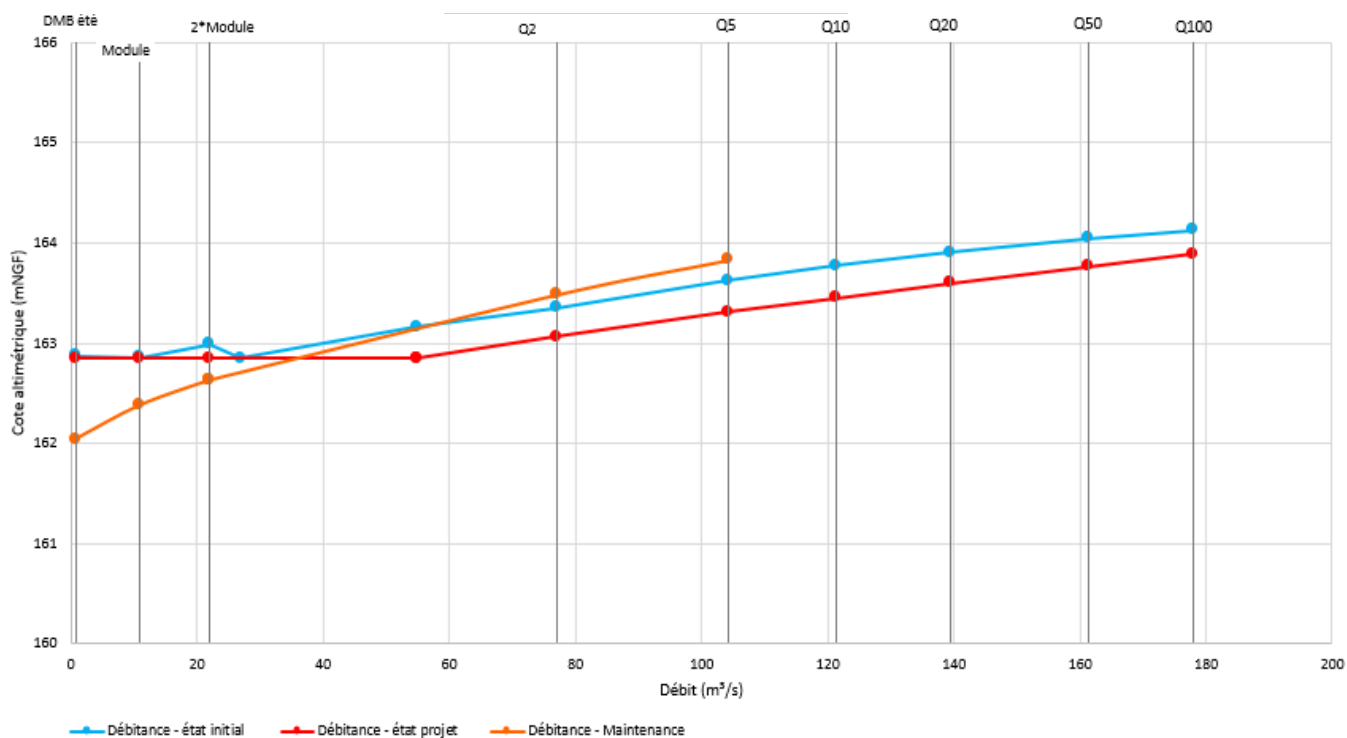


Figure 22 : Lignes d'eau au droit du barrage de Mussey en phase d'exploitation et comparaison avec l'état initial



4.2.2.4 Modélisation d'une opération de maintenance (1 passe batardée) en phase d'exploitation

La modélisation d'une opération de maintenance du barrage de Mussey est réalisée sur l'état projet en obstruant une seule des passes du barrage.

Les opérations de maintenance se dérouleront préférentiellement en période de basses eaux.

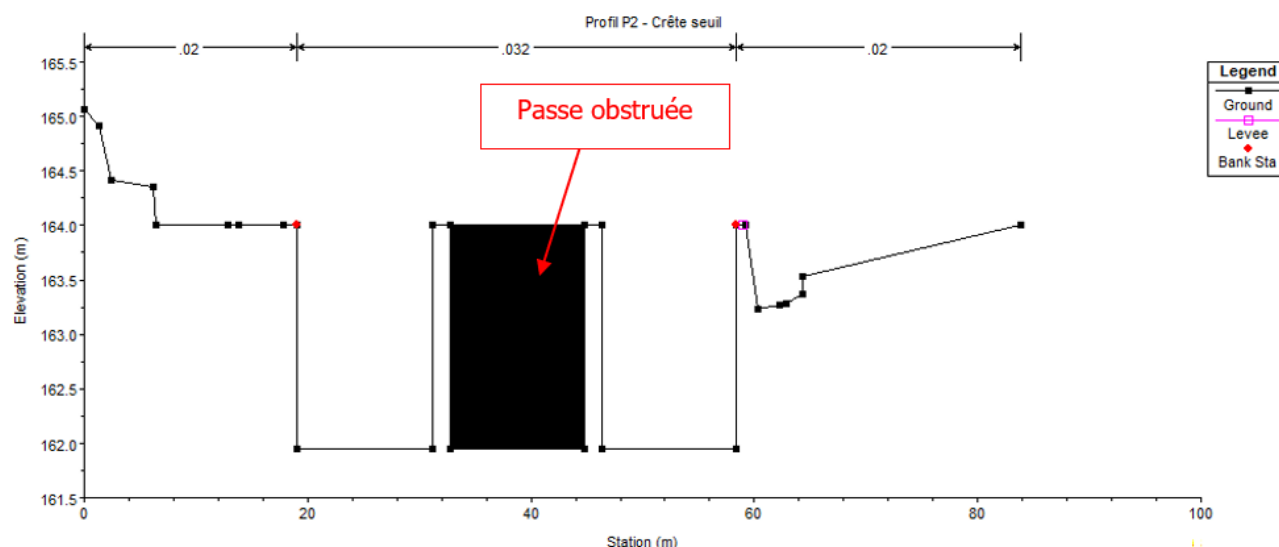


Figure 23 : Extrait modèle du profil en travers au droit du barrage de Mussey lors d'une opération de maintenance

L'incidence de l'opération de maintenance sur la débitance est évaluée sur les petites crues d'occurrence inférieure à Q10, soit Q2 et Q5.

Les cotes d'eau en amont et en aval du barrage de Mussey pour chacun des débits simulés en phase d'exploitation lors d'une opération de maintenance et comparés à l'état projet sont récapitulées dans le tableau 25 :

Situation hydrologique	Valeurs de débits (m3/s)	Cote amont (m NGF) Maintenance	Différence par rapport à l'état projet (m)	Cote aval (m NGF) Maintenance	Différence par rapport à l'état projet (m)
Q2	77.0	163.48	0.42	161.52	0.00
Q5	104.4	163.83	0.52	161.86	0.00

Tableau 25 : Récapitulatif des cotes d'eau en phase d'exploitation en amont et en aval du barrage de Mussey et comparaison avec l'état initial

La courbe de débitance en état de maintenance est présentée en Figure 22 b). La hauteur d'eau en amont du barrage est fortement impactée par rapport à l'état projet. Elle est supérieure à cette dernière de plus de 40 cm.



4.2.3 RESULTATS POUR LE BARRAGE DE CHANTERAINE

4.2.3.1 Modélisation de l'état initial

Par rapport au modèle de GEOS, un profil en travers a été ajouté au modèle et certains profils en travers ont été prolongés à partir des données topographiques du RGE Alti (1 m).

A l'état initial le barrage de Chanteraine est modélisé de deux manières différentes en fonction du débit d'injection à l'amont du modèle. Ces deux géométries sont représentées sur la Figure 24 et sur la Figure 25.

La Figure 24 présente la géométrie permettant de simuler le barrage quand les vannes sont relevées au maximum et quand les aiguilles sont absentes de la passe en rive gauche. Cette configuration reproduit le fonctionnement du barrage lors des crues. La section d'écoulement est maximale pour pouvoir laisser passer un débit le plus important possible.

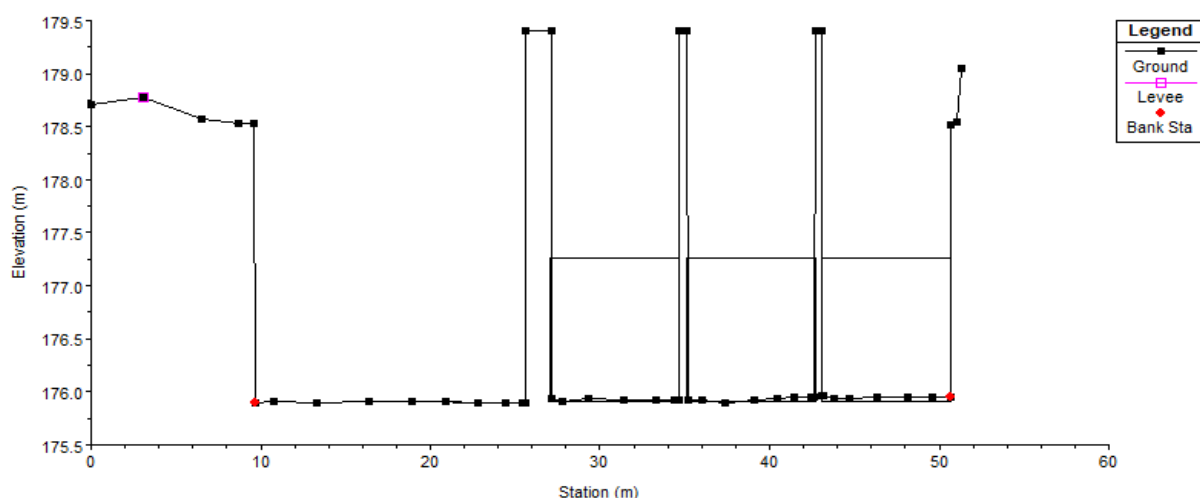


Figure 24 : Extrait modèle du profil en travers au droit du barrage ouvert (pour les crues) de Chanteraine

La Figure 25 présente la géométrie permettant de simuler le barrage quand les vannes peuvent s'abaisser de manière à maintenir la RN amont et quand les aiguilles sont mises en place. Cette configuration reproduit le fonctionnement du barrage lors des faibles débits. La section d'écoulement est réduite pour pouvoir maintenir la retenue normale en amont du barrage.

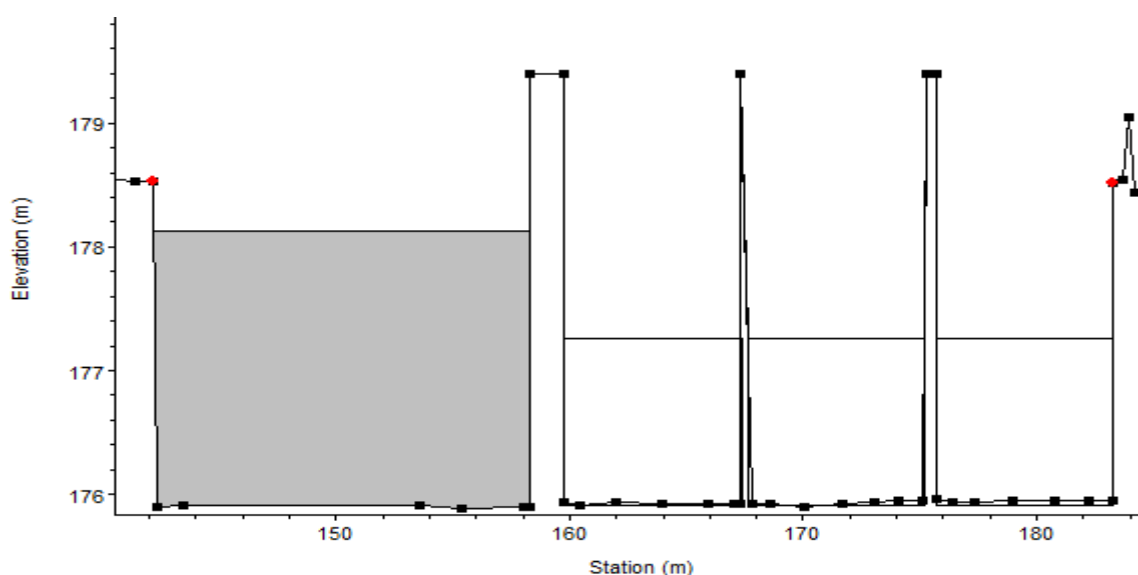


Figure 25 : Extrait modèle du profil en travers au droit du barrage semi-ouvert (pour les faibles débits) de Chanteraine



La loi de débitance du barrage de Chanteraine à l'état initial est présentée sur le graphique ci-dessous :

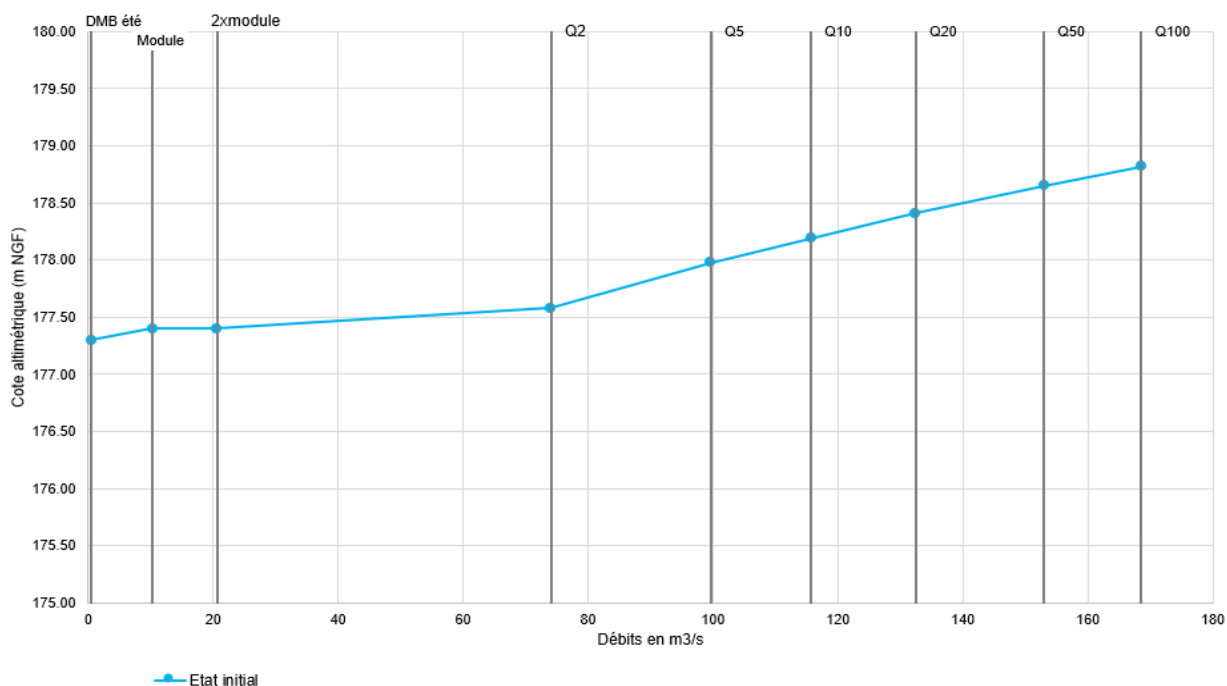


Figure 26 : Courbe de débitance du barrage de Chanteraine pour l'état initial

Cette courbe de débitance est extraite des résultats de modélisation hydraulique. Le débit d'effacement de ce barrage à l'état initial est de 63 m³/s, c'est-à-dire qu'en dessous de ce débit les aiguilles sont mises en place et les clapets doivent commencer à se fermer et au-dessus de ce débit les clapets sont complètement ouverts et les aiguilles enlevées du barrage. Actuellement, ce barrage étant équipé de 3 clapets, il est plus facile de représenter le maintien de la RN amont que pour le barrage de Mussey qui contenait un important linéaire avec des réhausses en bois.

Les lignes d'eau pour chaque débit simulé à l'état initial sont présentées sur le graphique ci-dessous :

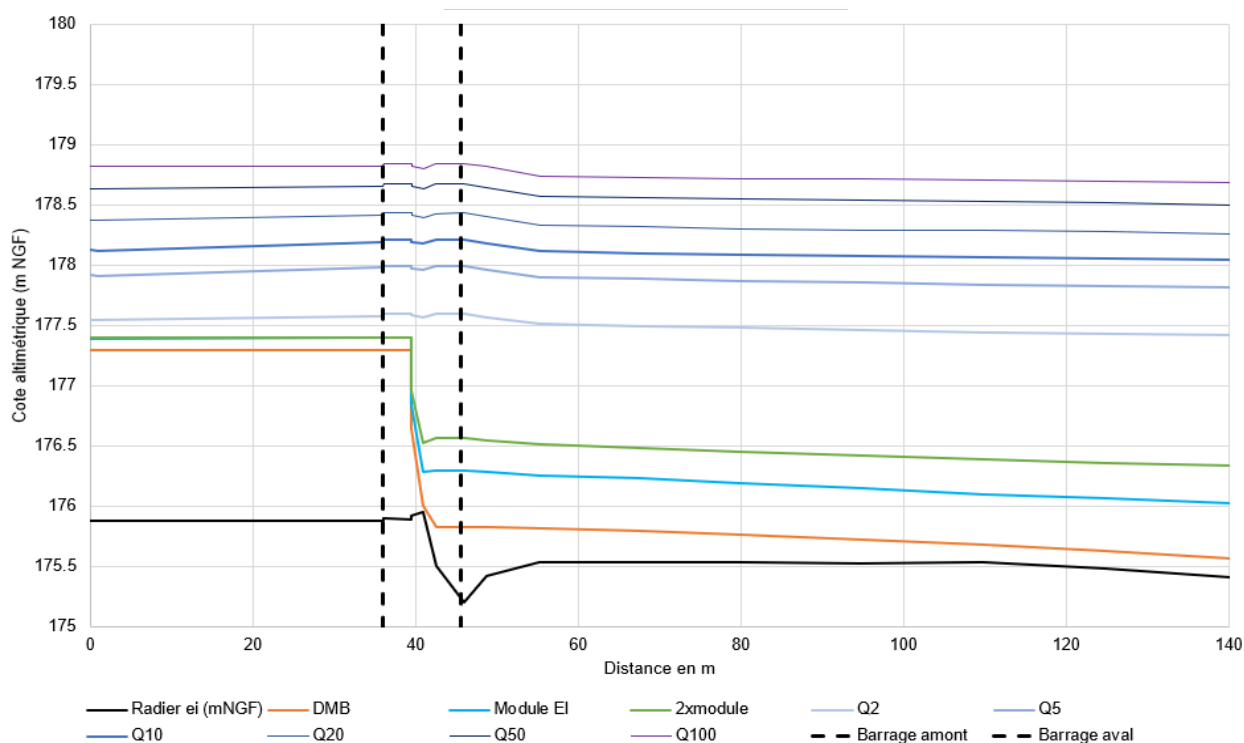


Figure 27 : Lignes d'eau au droit du barrage de Chanteraine à l'état initial

D'après la Figure 27, les hauteurs d'eau sont quasiment constantes au niveau du barrage aval pour les crues et diminuent fortement pour les faibles débits. Il est essentiel de remarquer que cette forte diminution est due au maintien du niveau d'eau de la RN amont. On peut donc en déduire que le barrage est dénoyé pour les faibles débits. Pour les crues, le barrage est noyé, son impact sur la ligne d'eau est quasiment nul.

Les cotes d'eau en amont et en aval du barrage de Chanteraine pour chacun des débits simulés sont récapitulées dans le tableau 26 :

Situation hydrologique	Vanne	Valeurs de débits (m3/s)	Cote amont (m NGF)	Cote aval (m NGF)
DMB été	Semi-ouverte H =0,04 m	0.52	177.30	175.83
Module	Semi-ouverte H =0,30 m	10.3	177.40	176.29
Double du module	Semi-ouverte H =0,47 m	20.6	177.40	176.55
Q2	Ouverte	74.1	177.58	177.57
Q5	Ouverte	99.7	177.98	177.96
Q10	Ouverte	115.7	178.19	178.18
Q20	Ouverte	132.5	178.41	178.40
Q50	Ouverte	153.0	178.65	178.64
Q100	Ouverte	168.6	178.82	178.82

Tableau 26 : Récapitulatif des cotes d'eau à l'état initial en amont et en aval du barrage de Chanteraine

Le PPRI de l'Ornain aval est basé sur l'étude d'Hydrolac de février 1999. La cote de référence au droit du barrage n'est pas indiquée et celui-ci ne semble pas pris en compte.

Le débit de la crue de référence sur le secteur d'étude est de 236 m3/s soit plus important que le débit présentement estimé.

La Figure 28 présente la cartographie des cotes de référence du PPRI.

On note que le barrage de Chanteraine ne semble pas rigoureusement pris en compte par les profils en travers du PPRI.

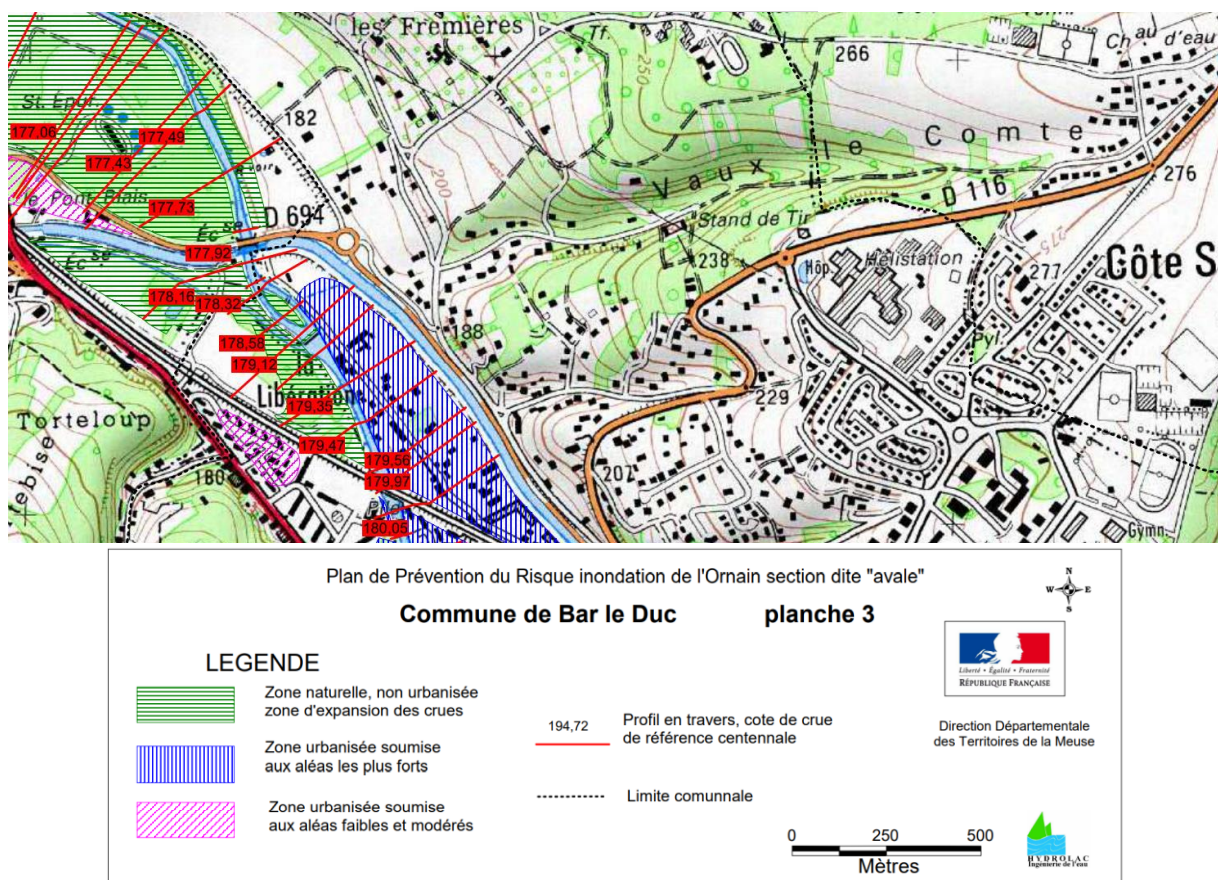


Figure 28 : Cartographie du PPRI de l'Ornain sur le secteur aval sur la commune de Bar-le-Duc

Afin de vérifier le calage du modèle, une simulation avec le débit du PPRI a été réalisée. Les résultats sont présentés sur la Figure 29.

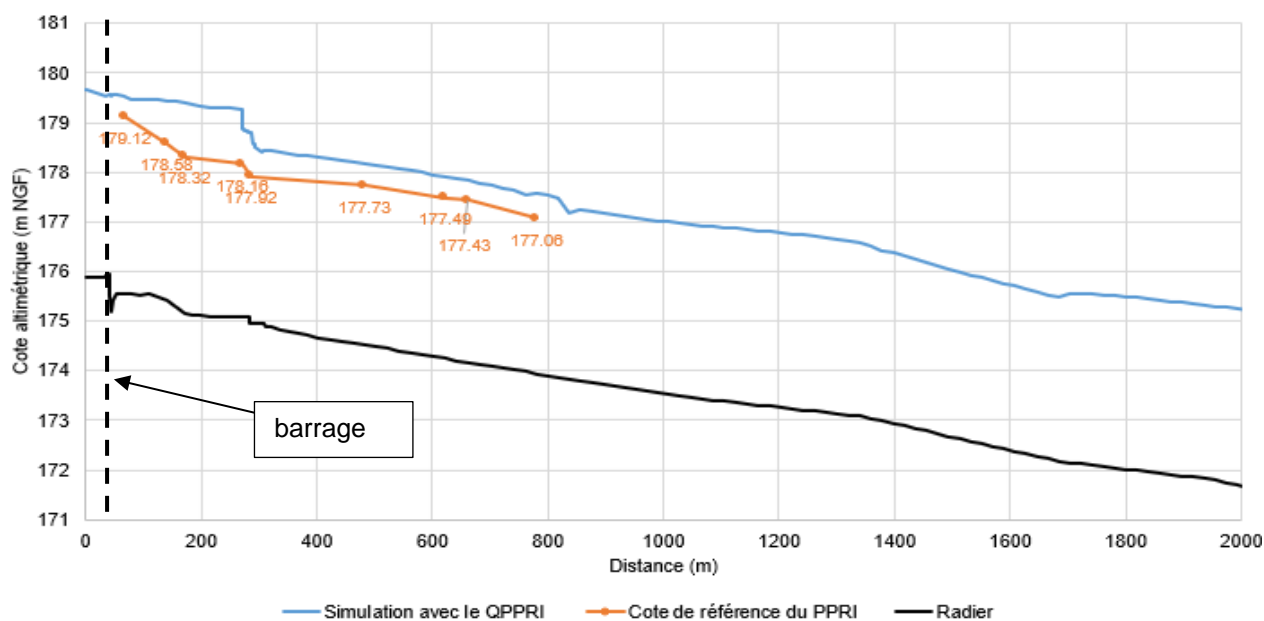


Figure 29 : Vérification du calage du modèle de Chanteraine sur le PPRI de l'Ornain



Les résultats ne sont pas du tout concluants contrairement à la vérification du calage de Mussey. On observe une différence d'environ 50 cm au global et de plus de 1 m au niveau du barrage.

Les sources de différence entre les 2 résultats sont possiblement :

- la représentation des ouvrages hydraulique dans le modèle hydraulique du PPRI ;
- l'évolution de la bathymétrie de l'Ornain sur le secteur d'étude, mais ne disposant pas des transects du PPRI la comparaison n'a pas pu être réalisée ;
- la représentation de la plaine d'inondation de l'Ornain qui est relativement étendue sur le secteur qui peut impacter le niveau d'eau.

Notre modèle reste toutefois sécuritaire, les lignes d'eau étant supérieure à celle du PPRI pour le même débit supposé simulé. Les mêmes hypothèses de débits ont été pris pour les barrages de Mussey (plus en aval par rapport à Chanteraine) sur les bases des informations disponibles dans l'étude d'Hydrolac de février 1999. La valeur de 236 m³/s retenue ici ne correspond peut-être pas celle du PPRI au droit de Chanteraine. En l'absence d'information plus détaillée, il est difficile de tirer des conclusions fiables. L'évaluation des incidences sera considérée de manière relative par rapport à l'état initial.

4.2.3.2 Modélisation de la phase de travaux

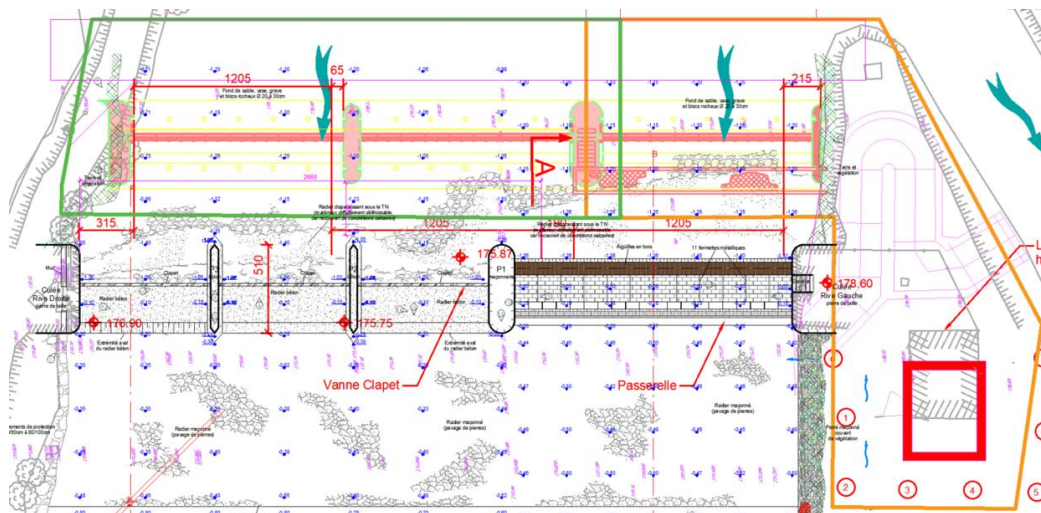
Le phasage travaux du barrage de Chanteraine est composé de deux phases présentées sur la Figure 31.

La Phase 1 consiste en la réalisation de la passe en rive gauche et de la passe-à-poisson en rive gauche. Les écoulements passeront par la rive droite.

La Phase 2 consiste en la réalisation des 2 passes en rive droite et au centre. Les écoulements sont dirigés en rive gauche.

La mise hors d'eau des espaces de chantier est réalisée grâce à des batardeaux.

La phase 2 est la plus pénalisante du point de vue hydraulique. La section d'écoulement restante pour l'Ornain est plus réduite en phase 2 qu'en phase 1.



Phase 1 Phase 2

Figure 30 : Phasage des travaux du barrage de Chanteraine

En phase travaux 2, le barrage de Chanteraine et le chantier sont représentés de la manière suivante. Le canal de dérivation en rive gauche est fortement sollicité pour faire transiter un débit pouvant s'élever jusqu'à plus de 11 m³/s.

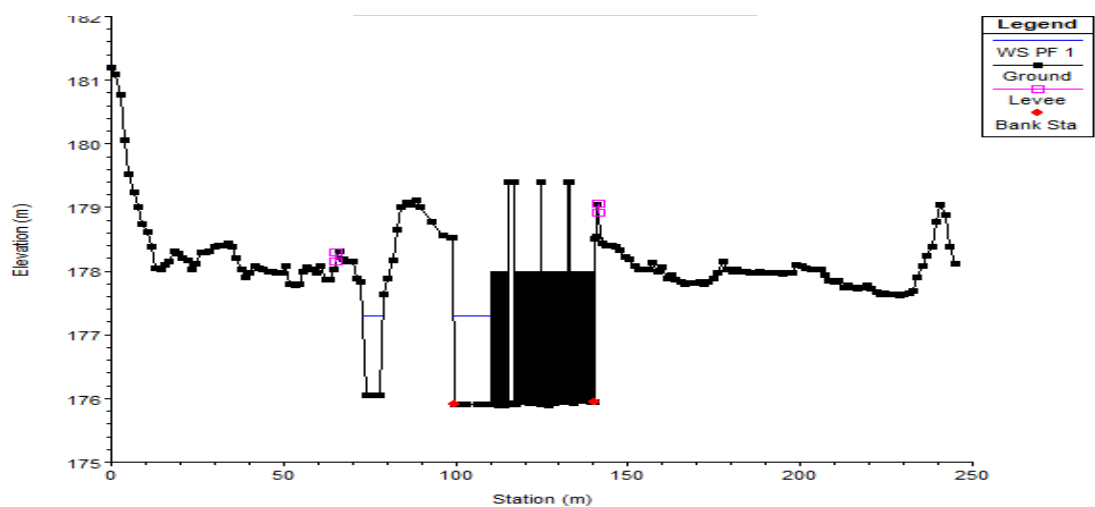


Figure 31 : Extrait modèle du profil en travers au droit du barrage de Chanteraine en phase travaux 1

Les lignes d'eau pour chaque débit simulé en phase travaux sont présentées sur le graphique en Figure 32 a).

Les cotes d'eau en amont et en aval du barrage de Chanteraine pour chacun des débits simulés en phase travaux et comparés à l'état initial sont récapitulées dans le tableau **Erreur ! Source du renvoi introuvable.27** :

Situation hydrologique	Valeurs de débits (m3/s)	Cote amont (m NGF) Phase travaux	Différence par rapport à l'état initial (m)	Cote aval (m NGF) Phase travaux	Différence par rapport à l'état initial (m)
Q2	74.1	177.97	0.39	177.59	0.02
Q5	99.7	178.44	0.46	177.98	0.02
Q10	115.7	179.08	0.89	178.21	0.03
Q100	168.6	179.53	0.71	178.84	0.02

Tableau 27 : Récapitulatif des cotes d'eau en phase travaux en amont et en aval du barrage de Chanteraine et comparaison avec l'état initial

Au droit de l'ouvrage, l'incidence maximale en crue est de :

- 0,88 m pour la Q2,
- 1,07 m pour la Q5,
- 1,20 m pour la Q10,
- 1,0 m pour la Q100.

Au droit du barrage, par rapport à l'état initial, l'incidence est la plus importante pour la crue Q10, elle augmente jusqu'à la crue Q10 et diminue un peu jusqu'à la Q100.

L'évaluation des incidences en phase travaux 2 sur la débitance du barrage de Chanteraine est présentée en Figure 33 b).

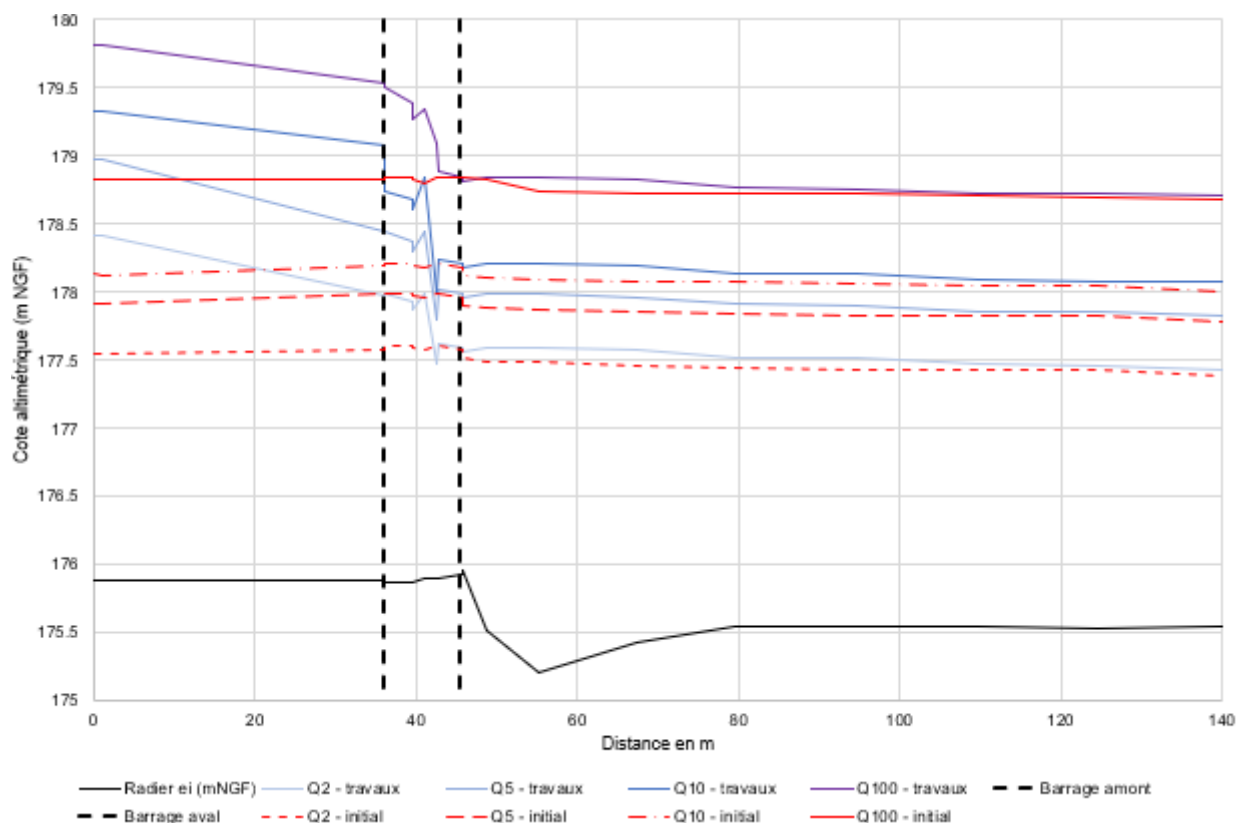
Il est intéressant de noter que pour chaque débit de crue en phase travaux, le barrage a un important impact sur la ligne d'eau contrairement à l'état initial où le barrage était noyé pour les forts débits. En effet, une importante chute peut être observée au niveau du barrage pour la phase travaux.



Au regard des incidences, les batardeaux seront dimensionnés pour prévenir l'inondation de la zone de chantier pour une crue Q5.

NOTA : Une marge de sécurité de 30 cm vis-à-vis de ces cotes d'eau devra être conservée pour prendre en compte les incertitudes de l'hydrologie (+10 cm), du modèle hydraulique (+10 cm) et les vagues en cas de vent (+10 cm).

a) Lignes d'eau au droit du barrage de Chanteraine en phase travaux 2



b) Evaluation des incidences en amont du barrage de Chanteraine en phase travaux 2

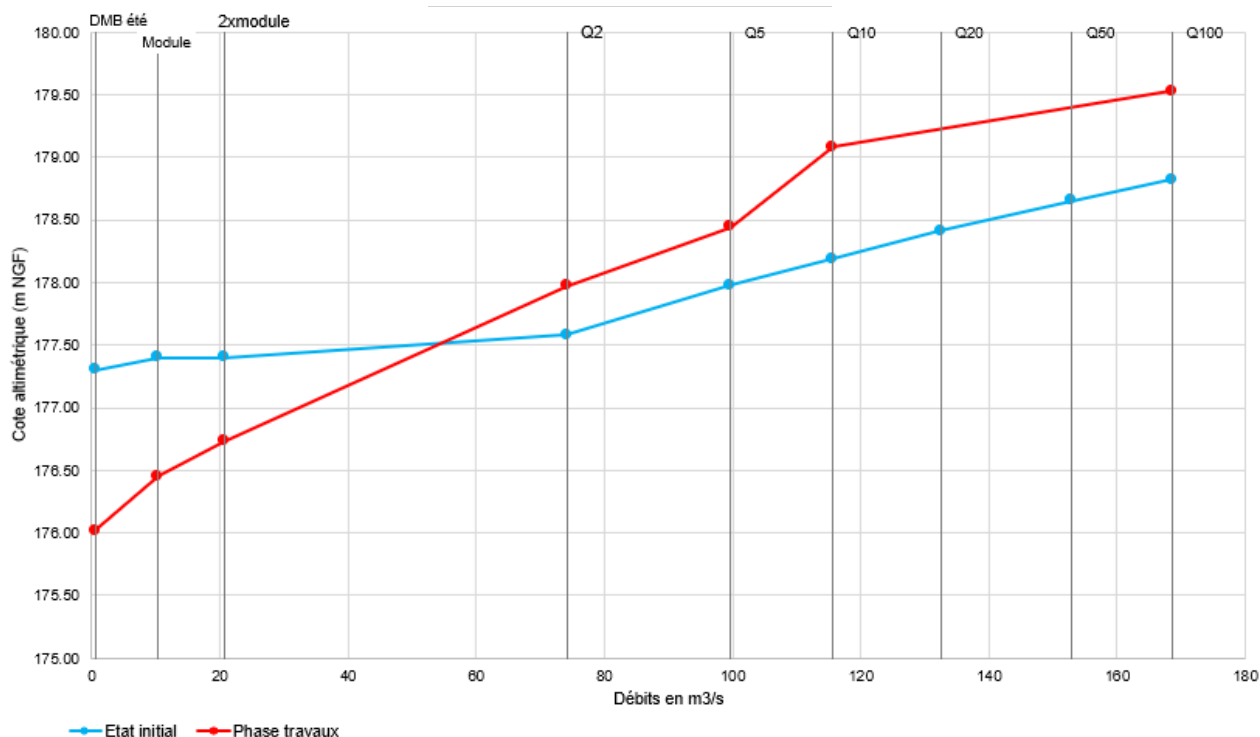


Figure 32 : Lignes d'eau au droit du barrage de Chanteraine en phase travaux et comparaison avec l'état initial

4.2.3.3 Modélisation de la phase d'exploitation

En phase d'exploitation (état projet), le barrage de Chanteraine sera constitué de 3 nouvelles passes en amont de l'actuel barrage, fonctionnant chacune grâce à une vanne clapet. Chaque vanne clapet aura une hauteur d'environ 1,5 m et une largeur de 12,05 m. Lorsque les vannes seront totalement fermées, la cote de retenue atteindra 177,39 m NGF. Le fonctionnement de ce nouveau barrage est illustré sur la Figure 33.

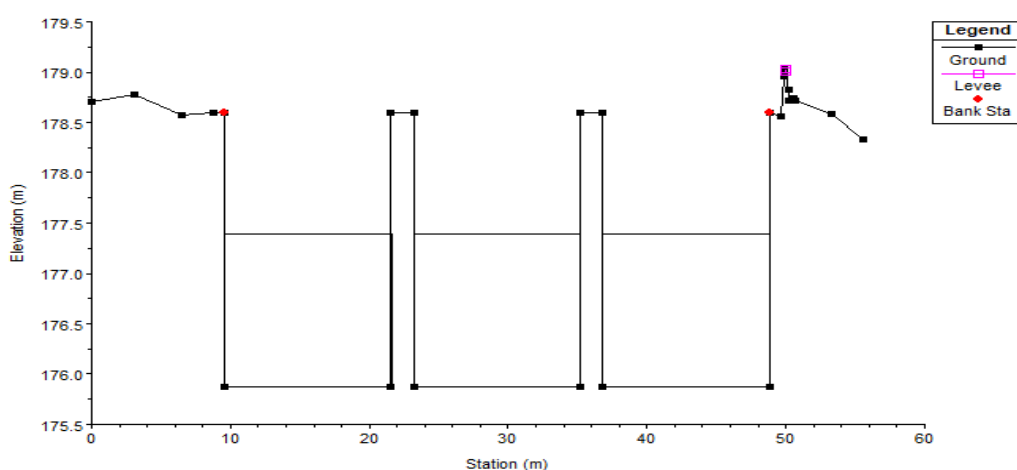


Figure 33 : Extrait modèle du profil en travers au droit du barrage de Chanteraine en phase d'exploitation

Les lignes d'eau pour chaque débit simulé en phase d'exploitation sont présentées sur le graphique en Figure 34 a). Les cotes d'eau en amont et en aval du barrage de Chanteraine pour chacun des débits simulés en phase d'exploitation et comparés à l'état initial sont récapitulées dans le tableau 28 :



Situation hydrologique	Valeurs de débits (m3/s)	Cote amont (m NGF) Projet	Différence par rapport à l'état initial (m)	Cote aval (m NGF) Projet	Différence par rapport à l'état initial (m)
DMB été	0.81	177.39	0.09	175.83	0
Module	11.0	177.39	-0.01	176.3	0.01
Double du module	22.0	177.39	-0.01	176.57	0.02
Q2	77.0	177.60	0.02	177.6	0.03
Q5	104.4	177.99	0.01	177.99	0.03
Q10	121.5	178.22	0.03	178.21	0.03
Q20	139.5	178.43	0.02	178.42	0.02
Q50	161.3	178.67	0.02	178.67	0.03
Q100	178.0	178.85	0.03	178.84	0.02

Tableau 28 : Récapitulatif des cotes d'eau en phase d'exploitation en amont et en aval du barrage de Chanteraine et comparaison avec l'état initial

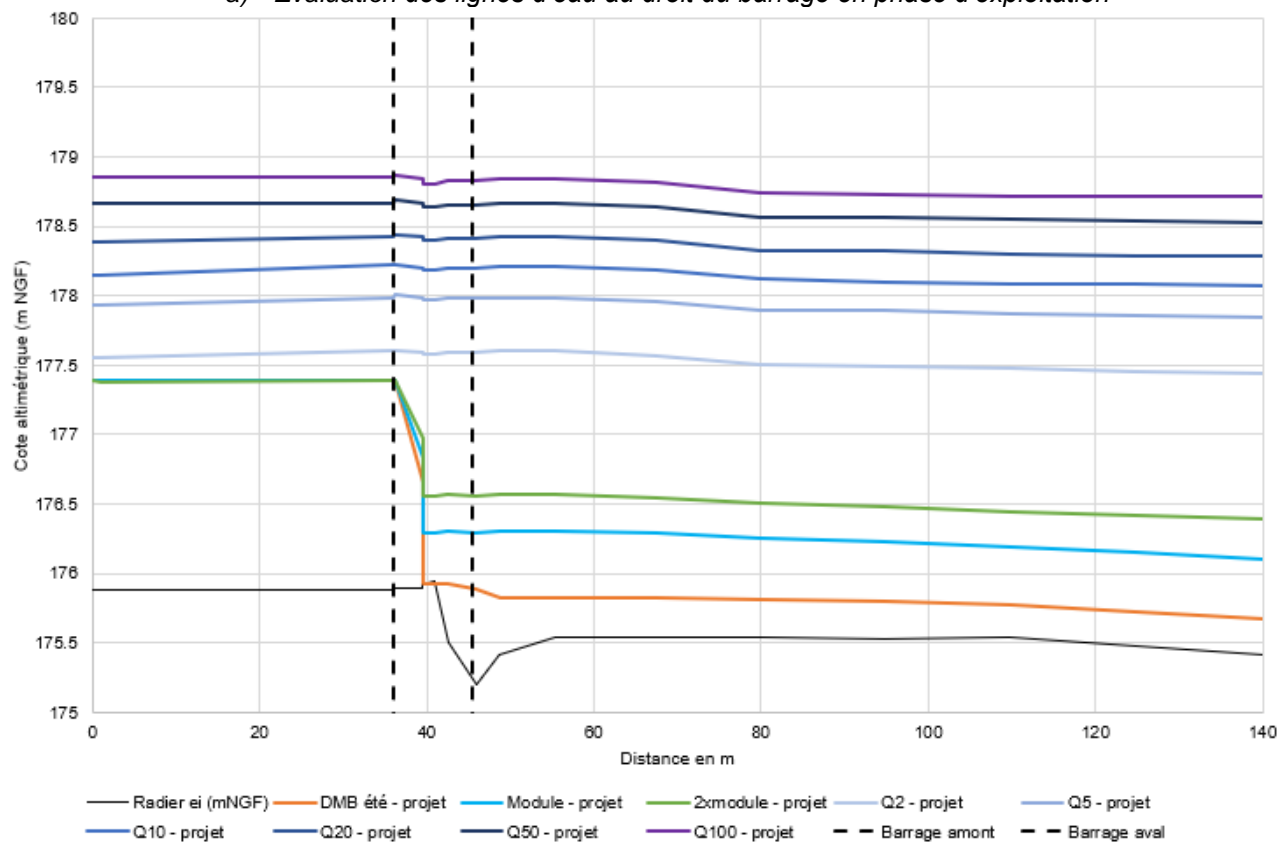
La nouvelle loi de débitance est déduite des modélisations hydrauliques de l'état projet. Elle est présentée en Figure 34 b). La débitance du barrage est conservée à l'état projet par rapport à l'état initial. Le futur débit d'effacement sera de 63,5 m³/s. D'après la Figure 34 a), l'évolution des lignes d'eau pour l'état projet sont semblables à celles obtenues à l'état initial. L'impact résiduel sur les lignes d'eau en crue est de l'ordre de 2-3 cm. Il est négligeable au regard de la précision du modèle.

NOTA : L'actuel barrage de Chanteraine sera démoli après la construction du nouveau barrage plus en amont. Pour la démolition de cet ouvrage, cela peut être réalisé de 2 manières différentes :

- Démolition à l'aide d'un engin de chantier, directement dans le cours d'eau, avec les chenilles ou roues de l'engin dans l'eau
- Démolition à l'aide d'un engin de chantier en batardant en amont et en aval de l'ouvrage en réutilisant les batardeaux utilisés pour la construction du futur ouvrage. Le phasage pourra être en 2 temps pour laisser passer l'écoulement de l'eau.



a) *Evaluation des lignes d'eau au droit du barrage en phase d'exploitation*





b) Débitance du barrage de Chanteraine en phase d'exploitation

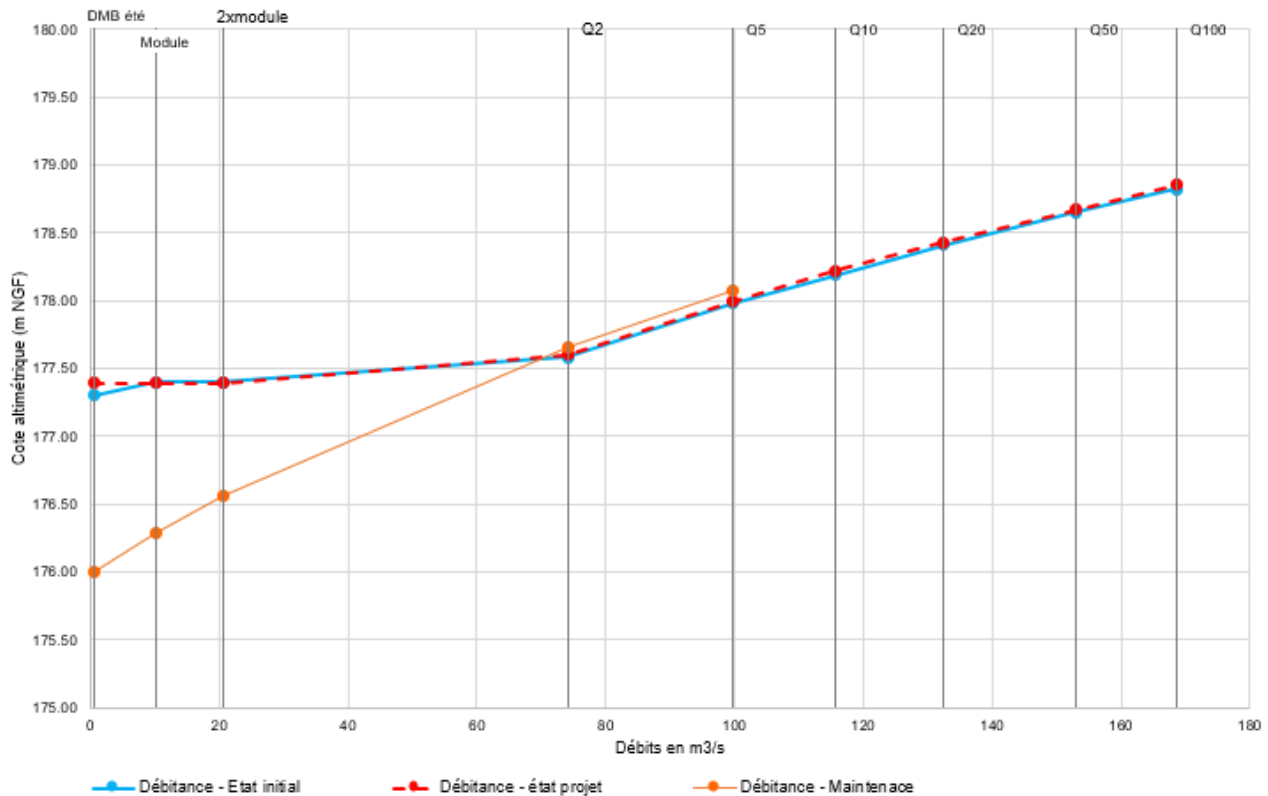


Figure 34 : Lignes d'eau au droit du barrage de Chanteraine en phase d'exploitation et comparaison avec l'état initial

4.2.3.4 Modélisation d'une opération de maintenance (1 passe batardée) en phase d'exploitation

La modélisation d'une opération de maintenance du barrage de Chanteraine est réalisée sur l'état projet en obstruant une seule des passes du barrage.

Les opérations de maintenance se dérouleront préférentiellement en période de basses eaux.

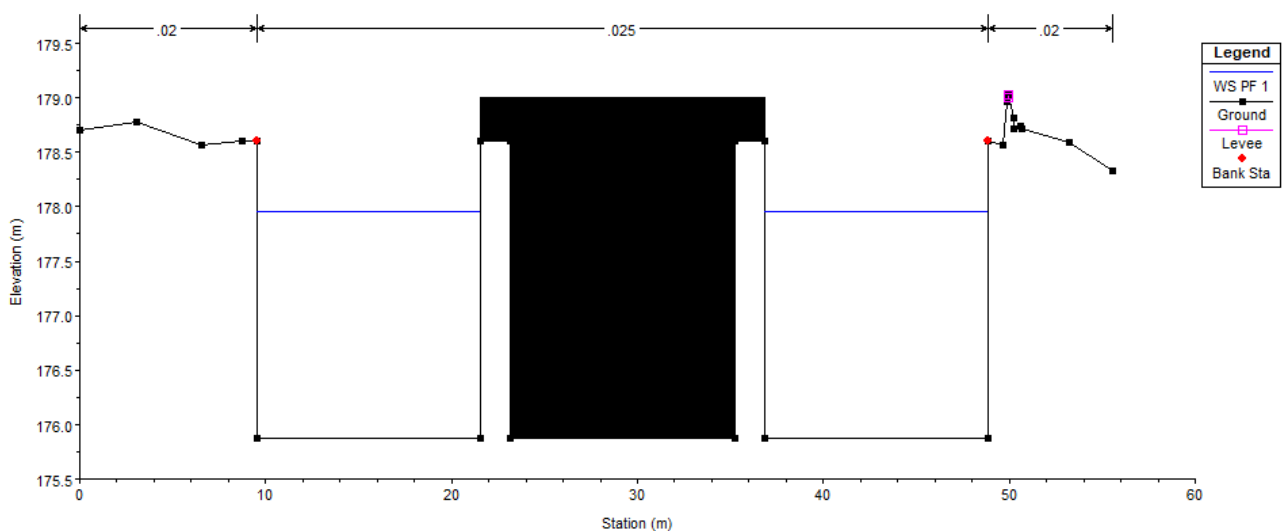


Figure 35 : Extrait modèle du profil en travers au droit du barrage de Chanteraine lors d'une opération de maintenance



L'incidence de l'opération de maintenance sur la débitance est évaluée sur les petites crues d'occurrence inférieure à Q10, soit Q2 et Q5.

Les cotes d'eau en amont et en aval du barrage de Chanteraine pour chacun des débits simulés en phase d'exploitation lors d'une opération de maintenance et comparés à l'état projet sont récapitulées dans le tableau 29 :

Situation hydrologique	Valeurs de débits (m3/s)	Cote amont (m NGF) Maintenance	Différence par rapport à l'état projet (m)	Cote aval (m NGF) Maintenance	Différence par rapport à l'état projet (m)
Q2	74.1	177.66	0.06	177.6	0.00
Q5	99.7	178.07	0.08	177.99	0.00

Tableau 29 : Récapitulatif des cotes d'eau en phase d'exploitation en amont et en aval du barrage de Chanteraine et comparaison avec l'état initial

La courbe de débitance en état de maintenance est présentée en Figure 34 b).

L'impact de la phase de maintenance sur la ligne d'eau est assez faible par rapport à la ligne d'eau à l'état projet. Il est inférieur à 10 cm.

4.2.4 RÉSULTATS POUR LE BARRAGE DE SAINT-JOIRE

4.2.4.1 Modélisation de l'état initial

A l'état initial le barrage de Saint-Joire est modélisé de deux manières différentes en fonction du débit d'injection à l'amont du modèle. Ces deux géométries sont représentées sur la Figure 36 et sur la Figure 37.

La Figure 36 permet de simuler le barrage quand les vannes sont relevées au maximum et quand les réhausses sont absentes. Cette configuration reproduit le fonctionnement du barrage lors des crues. La section d'écoulement est maximale pour pouvoir laisser passer un débit le plus important possible.

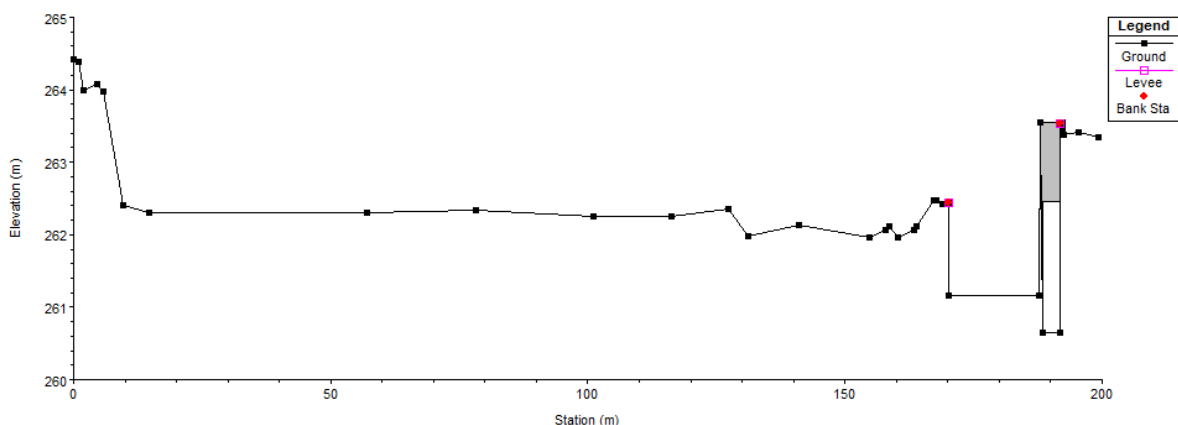


Figure 36 : Extrait modèle du profil en travers au droit du barrage ouvert (pour les crues) de Saint-Joire

La Figure 37 permet de simuler le barrage quand les vannes peuvent s'abaisser de manière à maintenir la RN amont et quand les réhausses sont mises en place. Cette configuration reproduit le fonctionnement du barrage lors des faibles débits. La section d'écoulement est réduite pour pouvoir maintenir la retenue normale en amont du barrage.

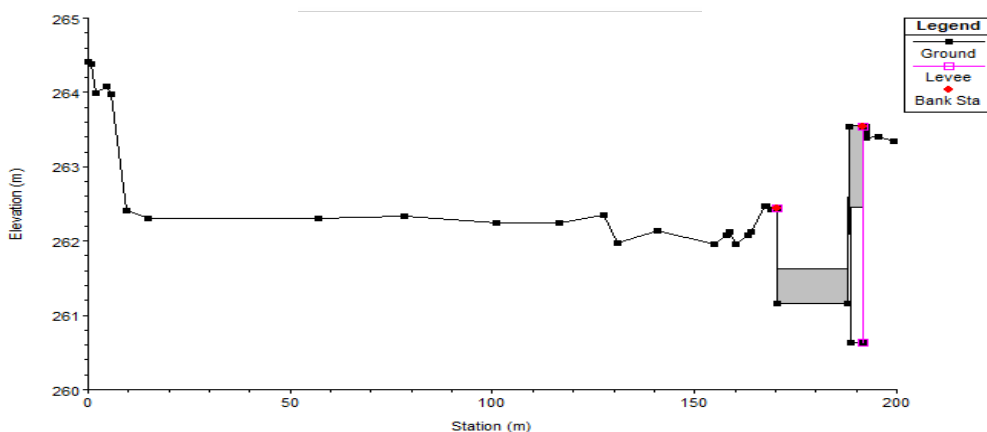


Figure 37 : Extrait modèle du profil en travers au droit du barrage semi-ouvert (pour les faibles débits) de Saint-Joire

La loi de débitance du barrage de Saint-Joire à l'état initial est présentée sur le graphique ci-dessous :

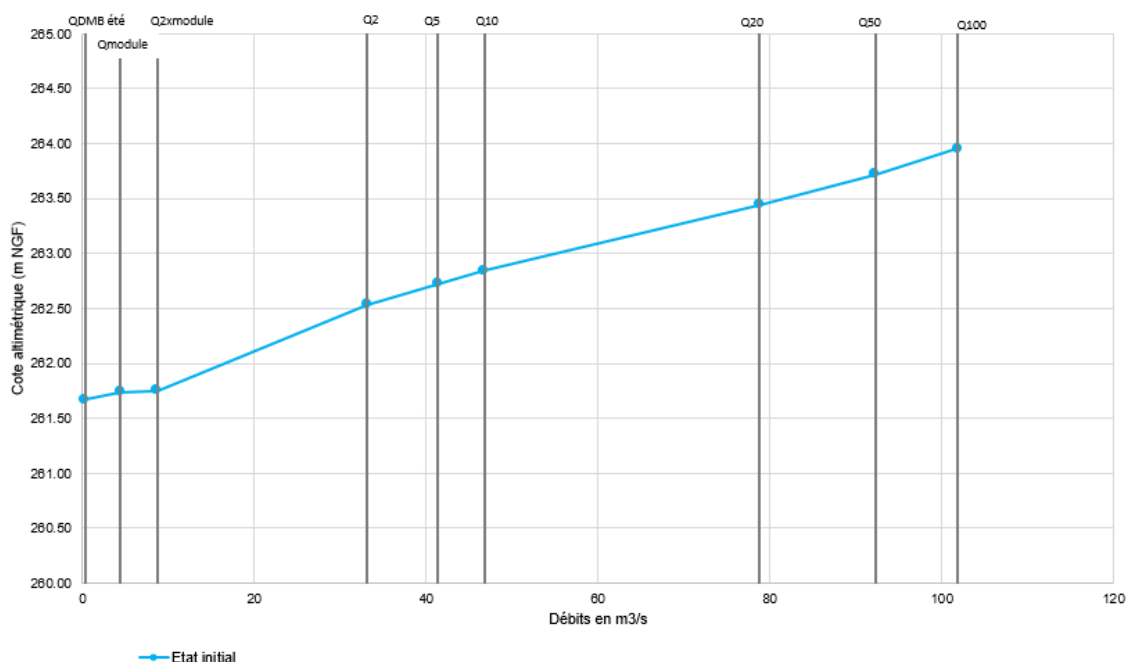


Figure 38 : Courbe de débitance du barrage de Saint-Joire pour l'état initial

Cette courbe de débitance est extraite des résultats de modélisation hydraulique. Le débit d'effacement du barrage de Saint-Joire à l'état initial est de 6,6 m³/s. C'est le débit au-dessus duquel toutes les réhausses sont enlevées et les vannes sont complètement relevées. En dessous de ce débit, les réhausses sont mises en place et les vannes commencent à s'abaisser. A cause des réhausses, il est difficile de représenter le fonctionnement du barrage pour maintenir la RN amont.

Les lignes d'eau pour chaque débit simulé à l'état initial sont présentées sur le graphique ci-dessous :

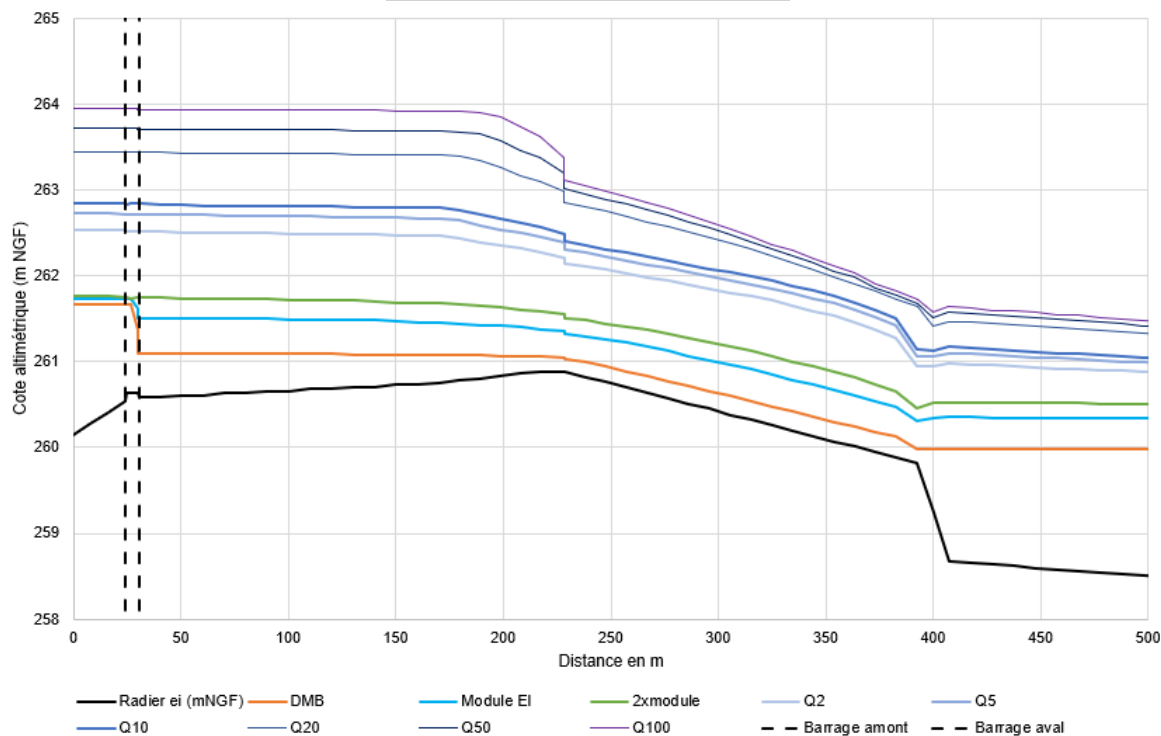


Figure 39 : Lignes d'eau au droit du barrage de Saint-Joire à l'état initial

D'après la Figure 39, les hauteurs d'eau sont constantes au niveau du barrage aval pour les crues et pour deux fois le module. Cependant, pour les débits inférieurs à deux fois le module, les hauteurs d'eau diminuent en aval immédiat du barrage. Il est essentiel de remarquer que cette forte diminution est due au maintien du niveau d'eau de la RN amont. On peut donc en déduire que pour les débits supérieurs à deux fois le module, le barrage est noyé, son impact sur la ligne d'eau est nul. En maintenant la RN amont, le barrage est dénoyé pour les faibles débits, inférieurs à deux fois le module.

Les cotes d'eau en amont et en aval du barrage de Saint-Joire pour chacun des débits simulés sont récapitulées dans le tableau 30 :

Situation hydrologique	Vanne	Valeurs de débits (m3/s)	Cote amont (m NGF)	Cote aval (m NGF)
DMB été	Semi-ouverte H =0,01 m	0.32	261.67	261.09
Module	Ouverte	4.4	261.74	261.51
Double du module	Ouverte	8.7	261.75	261.75
Q2	Ouverte	33.1	262.53	262.52
Q5	Ouverte	41.4	262.72	262.72
Q10	Ouverte	46.8	262.84	262.84
Q20	Ouverte	78.8	263.44	263.44
Q50	Ouverte	92.3	263.72	263.71
Q100	Ouverte	101.9	263.95	263.94

Tableau 30 : Récapitulatif des cotes d'eau à l'état initial en amont et en aval du barrage de Saint-Joire

Le PPRI de l'Ornain amont est basé sur l'étude d'Hydrolac de 2006. La cote de référence au droit du barrage n'est pas indiquée. Le débit de la crue de référence sur le secteur d'étude est de 139,1 m3/s (Q100 p73 de l'étude Hydrolac) à Saint-Joire soit plus important que le débit présentement estimé.

La Figure 40 présente la cartographie des cotes de référence du PPRI.



On note que le barrage de Saint-Joire ne semble pas pris en compte par les profils en travers du PPRI. Il n'est également pas mentionné dans le rapport d'étude d'Hydrolac.
Afin de vérifier le calage du modèle, une simulation avec le débit du PPRI a été réalisée.
Les résultats sont présentés en Figure 41.

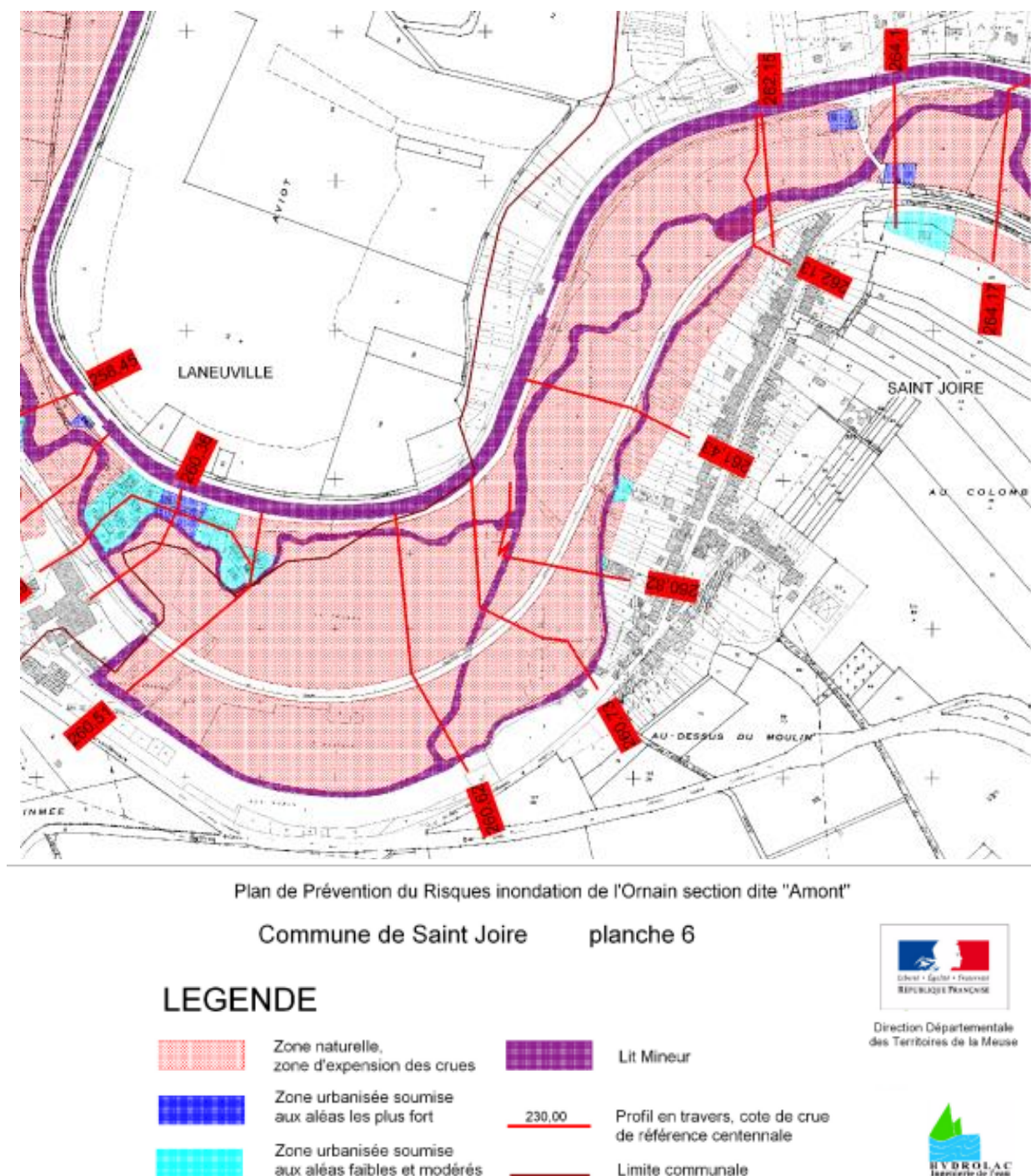


Figure 40 : Cartographie du PPRI de l'Ornain sur le secteur amont sur la commune de Saint-Joire

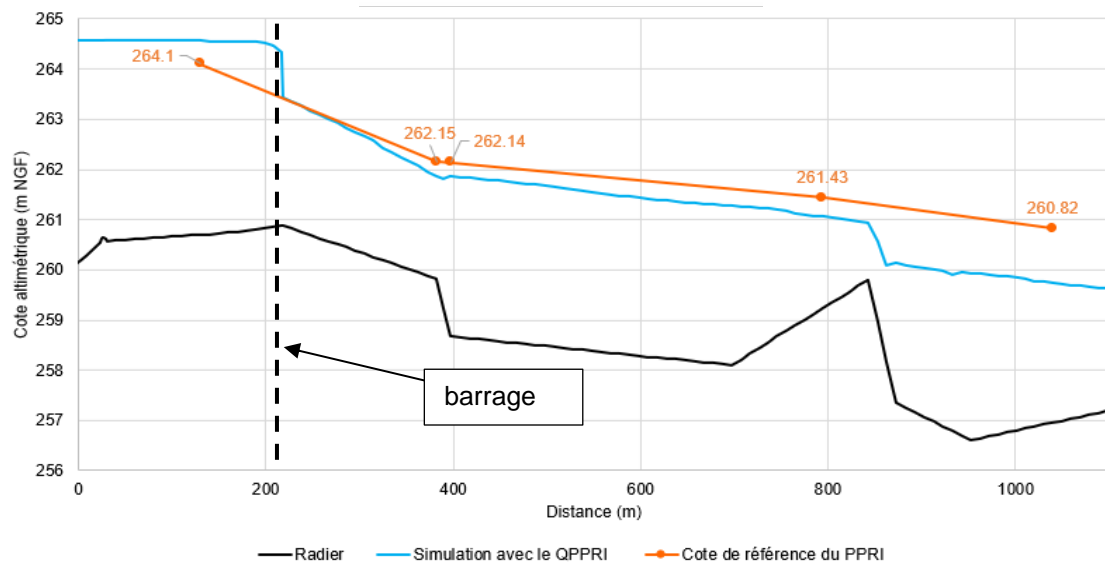


Figure 41 : Vérification du calage du modèle de Saint-Joire sur le PPRI de l'Ornain

On observe que globalement les deux lignes d'eaux sont relativement similaires. Les profils en travers du PPRI ont été utilisés pour construire le présent modèle. Ils ont été complétés par les relevés topographiques de 2015 intégrant notamment le barrage. Les différences au niveau des lignes d'eau semblent correspondre aux profils en travers complémentaires du cours d'eau. Le modèle est donc validé.

4.2.4.2 Modélisation de la phase de travaux

Le phasage travaux du barrage de Saint-Joire est composé de deux phases présentées ci-après.

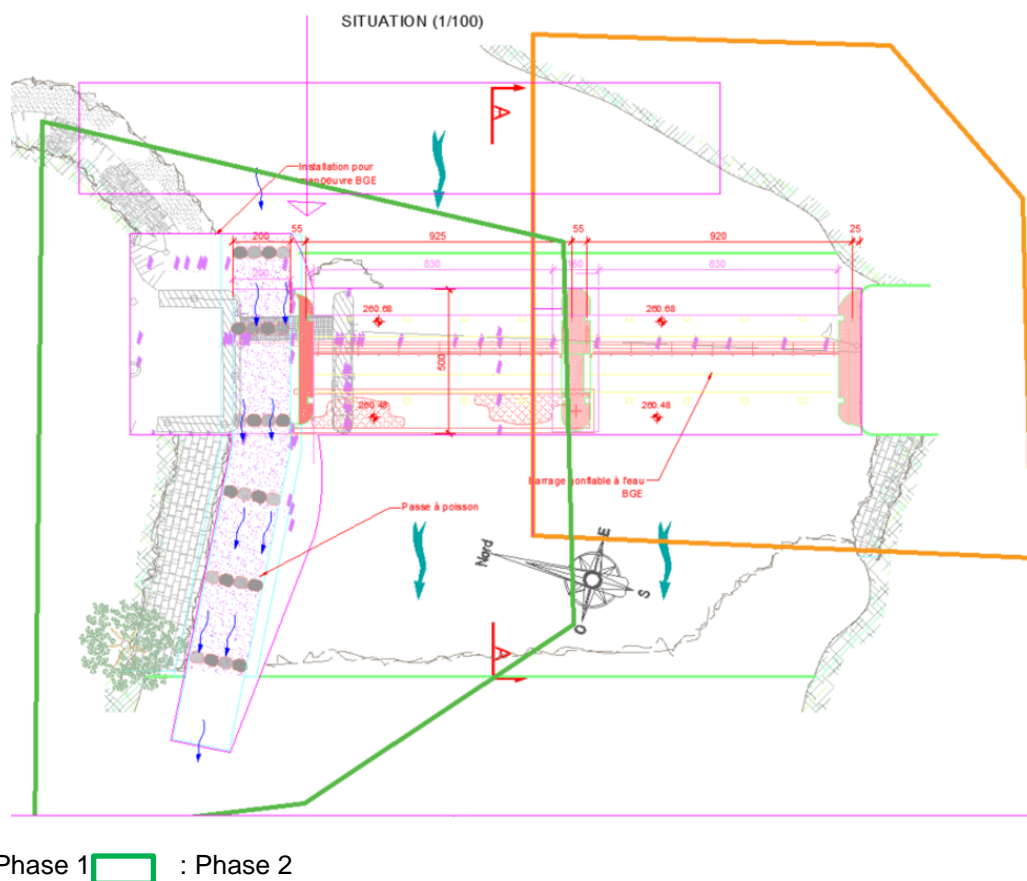


Figure 42 : Phasage des travaux du barrage de Saint-Joire

La Phase 1 consiste en la réalisation de la passe en rive gauche. Les écoulements sont dirigés en rive droite vers la passe existante.

La Phase 2 consiste en la réalisation de la passe rive droite et de la passe-à-poisson en rive droite. Les écoulements passeront par la passe nouvellement réalisée. La mise hors d'eau des espaces de chantier est réalisée grâce à des batardeaux.

La phase 2 est la plus pénalisante du point de vue hydraulique. La section d'écoulement restante pour l'Ornain est plus réduite en phase 2 qu'en phase 1.

En phase travaux 2, le barrage de Saint-Joire et le chantier sont représentés de la manière suivante :

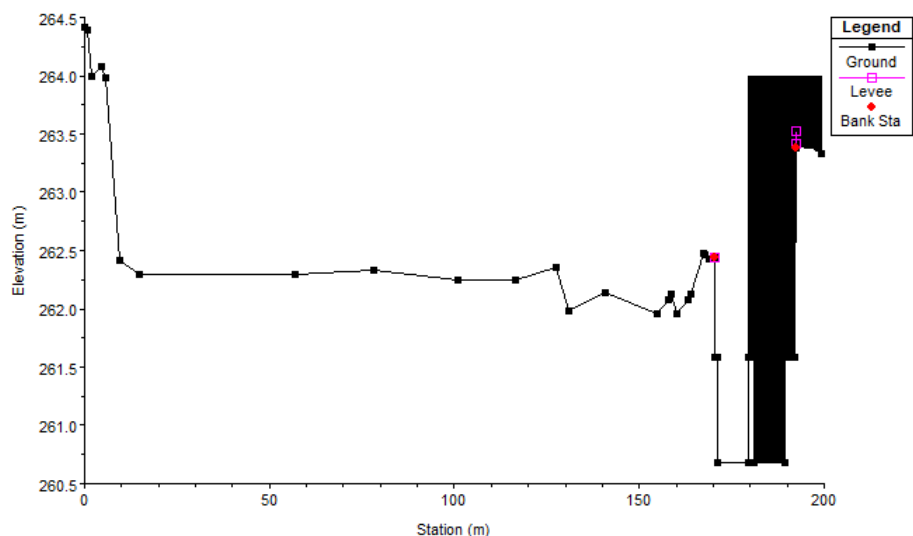


Figure 43 : Extrait modèle du profil en travers au droit du barrage de Saint-Joire en phase travaux 2

Les lignes d'eau pour chaque débit simulé en phase travaux sont présentées sur le graphique en Figure 44 a).

Les cotes d'eau en amont et en aval du barrage de Saint-Joire pour chacun des débits simulés en phase travaux et comparés à l'état initial sont récapitulées dans le tableau 31 :

Situation hydrologique	Valeurs de débits (m3/s)	Cote amont (m NGF) Phase travaux	Différence par rapport à l'état initial (m)	Cote aval (m NGF) Phase travaux	Différence par rapport à l'état initial (m)
Q2	33.1	262.55	0.02	262.52	0.00
Q5	41.4	262.73	0.01	262.72	0.00
Q10	46.8	262.85	0.01	262.84	0.00
Q100	101.9	263.95	0.00	263.94	0.00

Tableau 31 : Récapitulatif des cotes d'eau en phase travaux en amont et en aval du barrage de Saint-Joire et comparaison avec l'état initial

Au droit de l'ouvrage, l'incidence maximale en crue est de :

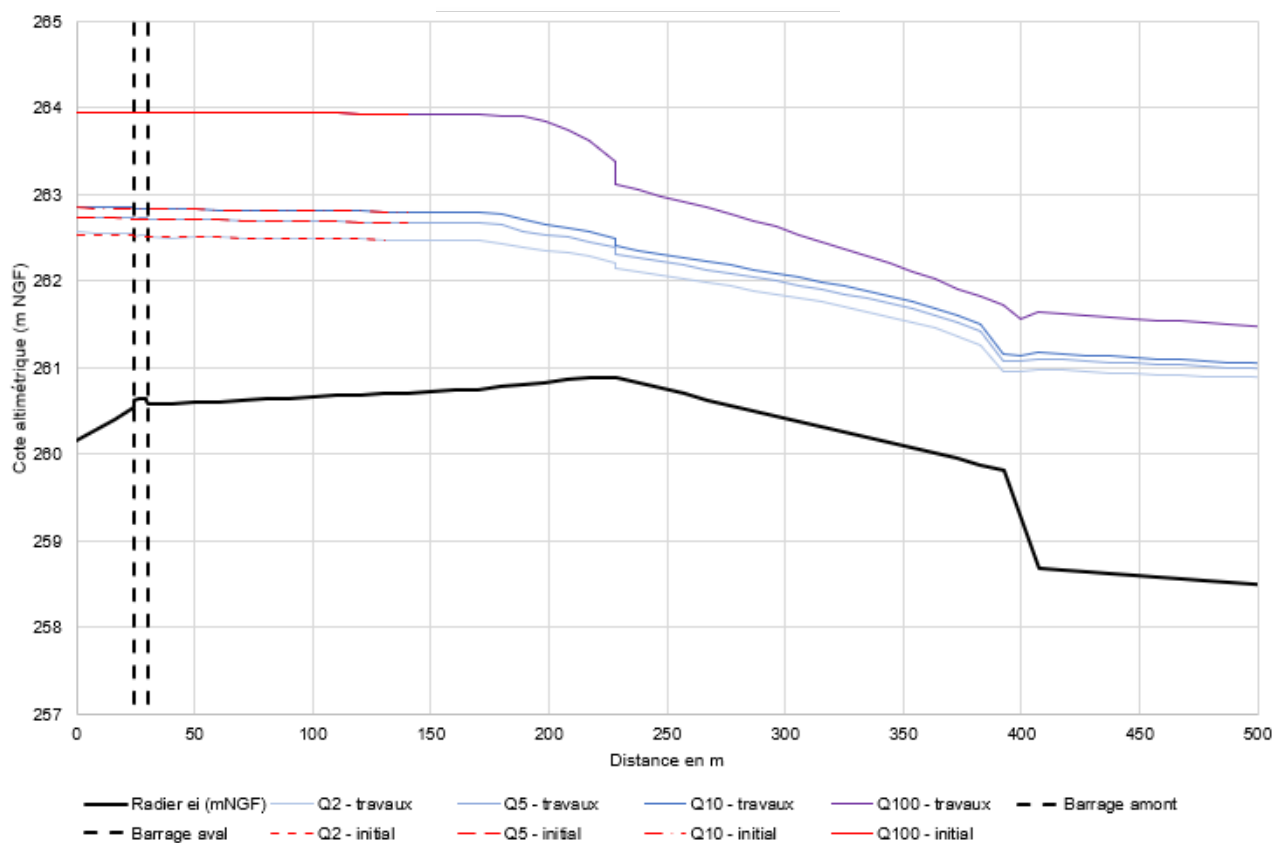
- 0,03 m pour la Q2,
- 0,07 m pour la Q5,
- 0,11 m pour la Q10,
- 0,06 m pour la Q100.

L'évaluation des incidences en phase travaux 2 sur la débitance du barrage de Saint-Joire est présentée en Figure 44 b).

Au regard des incidences, les batardeaux seront dimensionnés pour prévenir l'inondation de la zone de chantier pour une crue Q5.

NOTA : Une marge de sécurité de 30 cm vis-à-vis de ces cotes d'eau devra être conservée pour prendre en compte les incertitudes de l'hydrologie (+10 cm), du modèle hydraulique (+10 cm) et les vagues en cas de vent (+10 cm).

a) Lignes d'eau au droit du barrage de Saint-Joire en phase travaux 2



b) Evaluation des incidences en amont du barrage de Saint-Joire en phase travaux 2

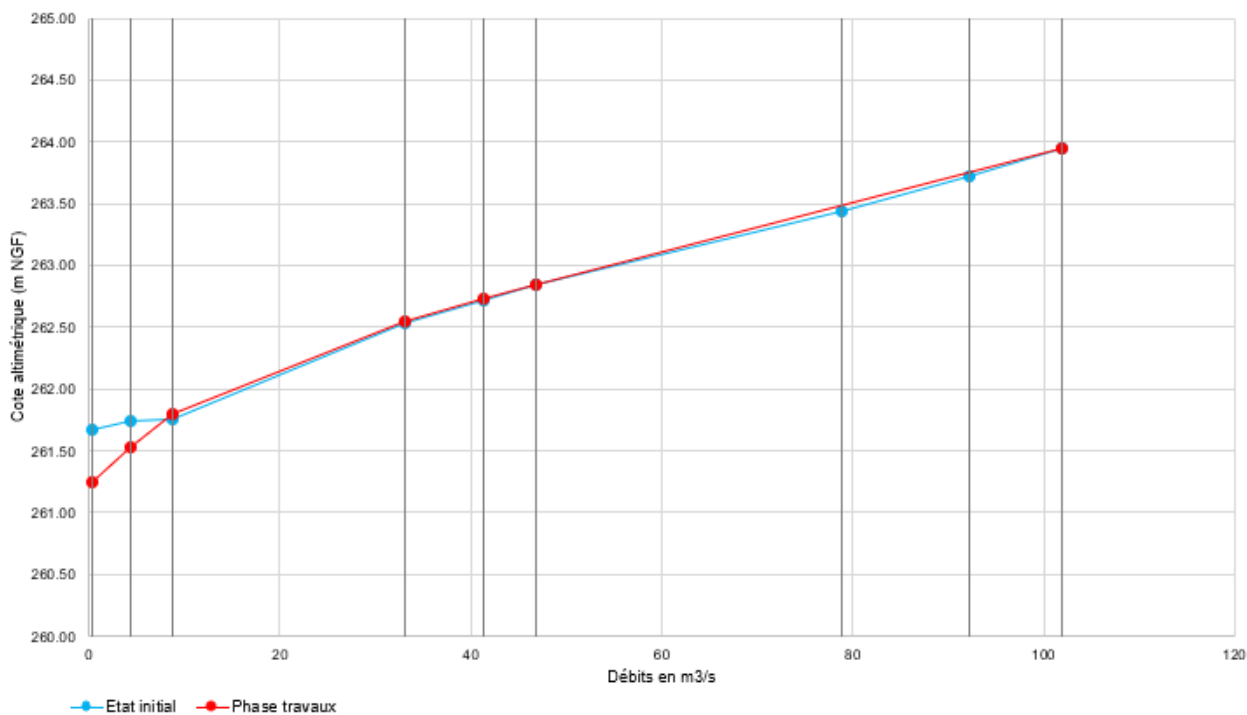


Figure 44 : Lignes d'eau au droit du barrage de Saint-Joire en phase travaux et comparaison avec l'état initial



4.2.4.3 Modélisation de la phase d'exploitation

En phase d'exploitation (état projet), le barrage de Saint-Joire sera constitué de 2 nouvelles passes, fonctionnant chacune grâce à une vanne clapet. Chaque vanne clapet aura une hauteur d'environ 1 m et une largeur de 8,3 m. Lorsque les vannes seront totalement fermées, la cote de retenue atteindra 260,66 m NGF. Le fonctionnement de ce nouveau barrage est illustré sur la Figure 45.

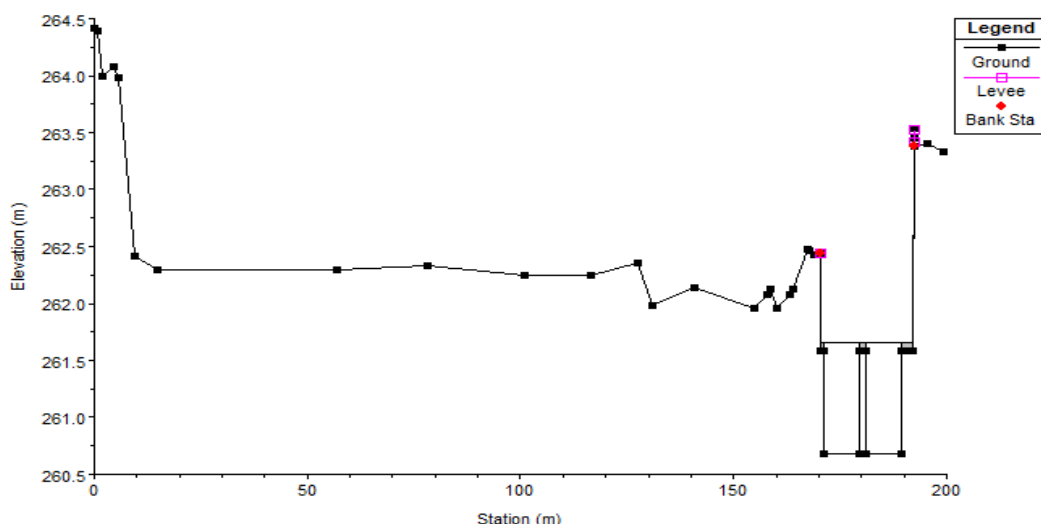


Figure 45 : Extrait modèle du profil en travers au droit du barrage de Saint-Joire en phase d'exploitation

Les lignes d'eau pour chaque débit simulé en phase d'exploitation sont présentées sur le graphique en Figure 46 a).

Les cotes d'eau en amont et en aval du barrage de Saint-Joire pour chacun des débits simulés en phase d'exploitation et comparés à l'état initial sont récapitulées dans le tableau 32 :

Situation hydrologique	Valeurs de débits (m ³ /s)	Cote amont (m NGF) Projet	Différence par rapport à l'état initial (m)	Cote aval (m NGF) Projet	Différence par rapport à l'état initial (m)
DMB été	0.32	261.66	-0.01	261.09	0
Module	4.4	261.66	-0.08	261.51	0
Double du module	8.7	261.75	0.00	261.75	0
Q2	33.1	262.53	0.00	262.52	0
Q5	41.4	262.72	0.00	262.72	0
Q10	46.8	262.84	0.00	262.84	0
Q20	78.8	263.44	0.00	263.44	0
Q50	92.3	263.72	0.00	263.71	0
Q100	101.9	263.95	0.00	263.94	0

Tableau 32 : Récapitulatif des cotes d'eau en phase d'exploitation en amont et en aval du barrage de Saint-Joire et comparaison avec l'état initial

La nouvelle loi de débitance est déduite des modélisations hydrauliques de l'état projet. Elle est présentée en Figure 46 b).

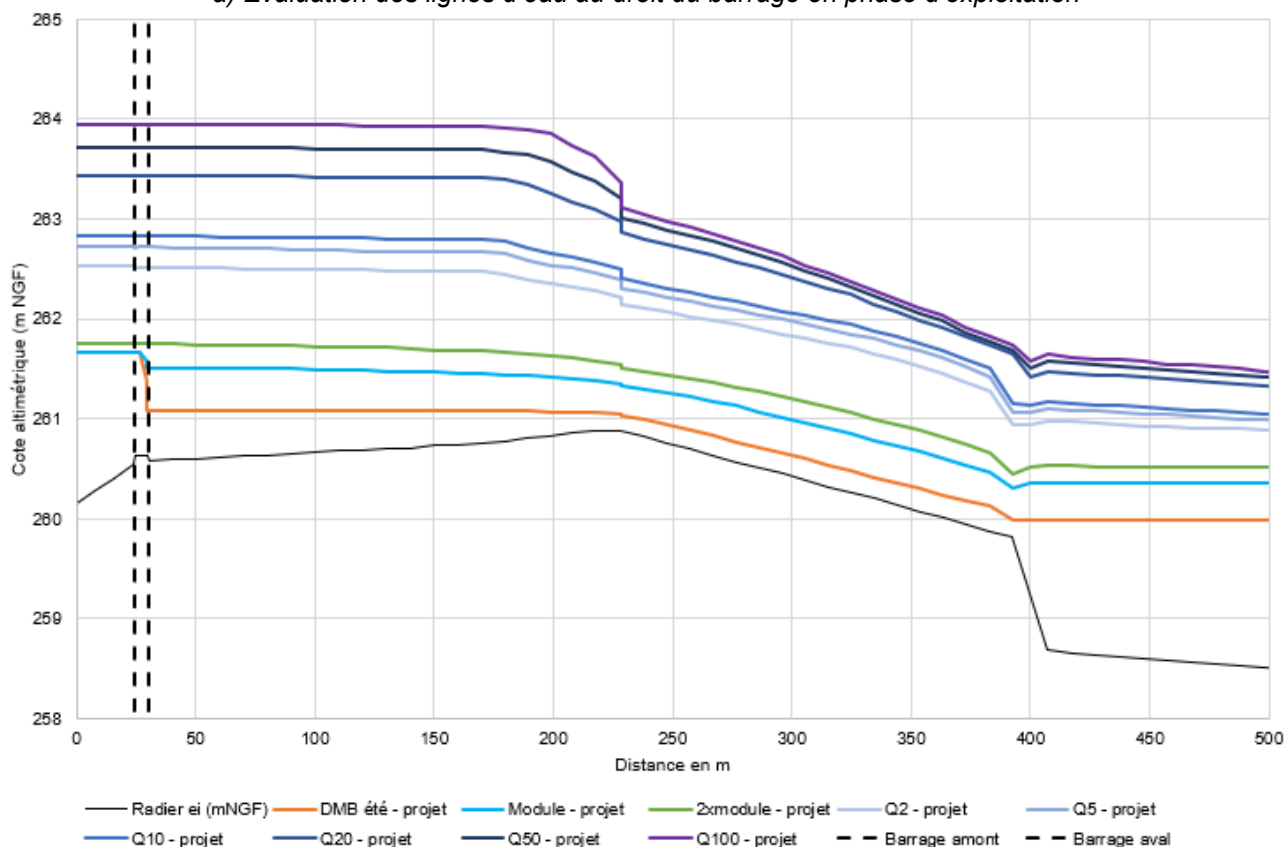
La débitance du barrage à l'état projet est similaire à l'état initial pour les débits de crue.

D'après la Figure 46 a), les évolutions des lignes d'eau pour l'état projet sont semblables à celles obtenues à l'état initial.



Le projet n'augmentera pas les lignes d'eau en crue le barrage étant rapidement contourné par les crues. Les incidences sur les lignes d'eau et le risque d'inondation pour les enjeux sont donc réduits sur le secteur d'étude en phase travaux.

a) Evaluation des lignes d'eau au droit du barrage en phase d'exploitation





b) Débitance du barrage de Saint-Joire en phase d'exploitation

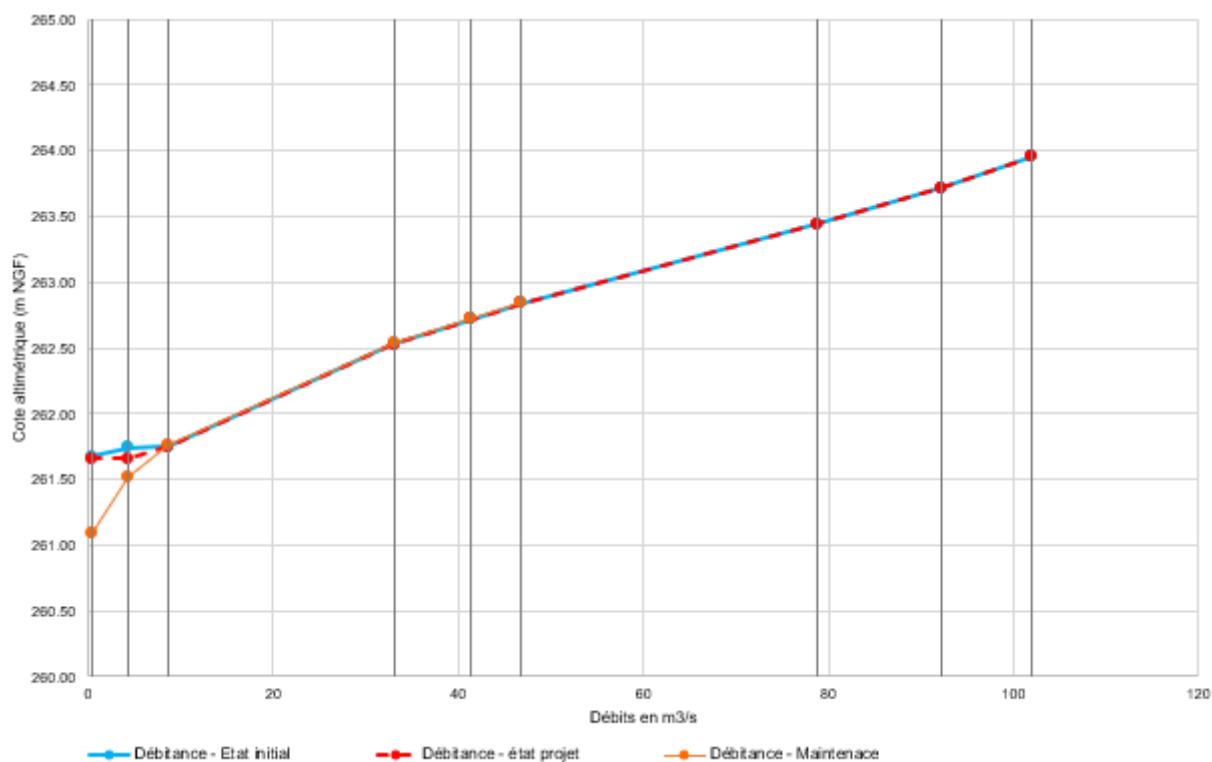


Figure 46 : Lignes d'eau au droit du barrage de Saint-Joire en phase d'exploitation et comparaison avec l'état initial



4.2.4.4 Modélisation d'une opération de maintenance (1 passe batardée) en phase d'exploitation

La modélisation d'une opération de maintenance du barrage de Saint-Joire est réalisée sur l'état projet en obstruant une seule des passes du barrage.

Les opérations de maintenance se dérouleront préférentiellement en période de basses eaux.

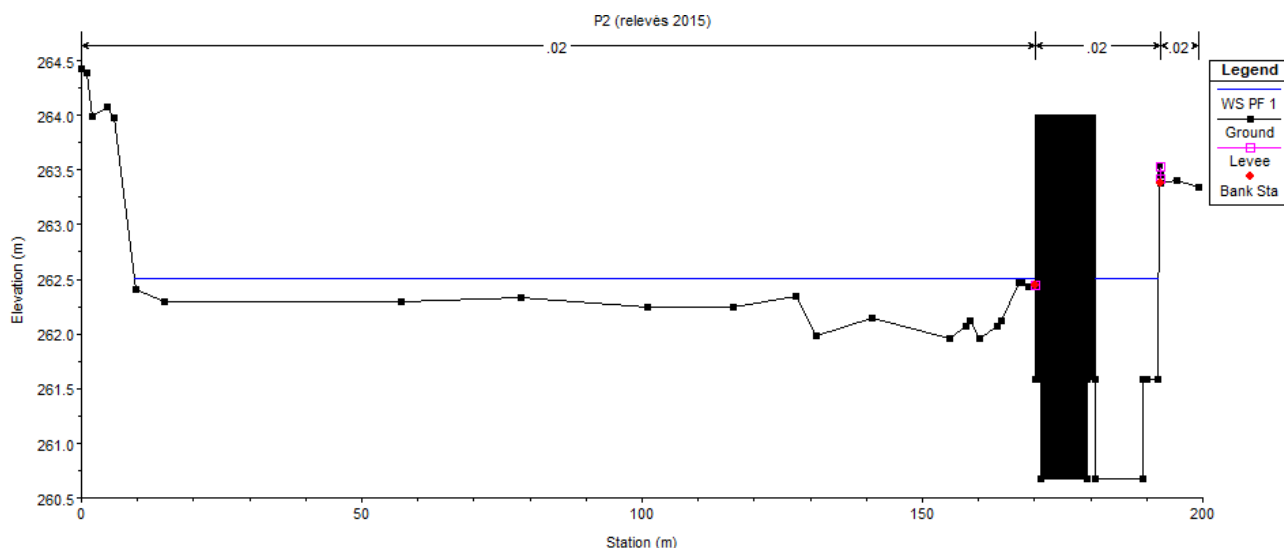


Figure 47 : Extrait modèle du profil en travers au droit du barrage de Saint-Joire lors d'une opération de maintenance

L'incidence de l'opération de maintenance sur la débitance est évaluée sur les petites crues d'occurrence inférieure à Q10.

Les cotes d'eau en amont et en aval du barrage de Saint-Joire pour chacun des débits simulés en phase d'exploitation lors d'une opération de maintenance et comparés à l'état projet sont récapitulées dans le tableau 33 :

Situation hydrologique	Valeurs de débits (m3/s)	Cote amont (m NGF) Maintenance	Différence par rapport à l'état projet (m)	Cote aval (m NGF) Maintenance	Différence par rapport à l'état projet (m)
Q2	33.1	262.54	0.01	262.52	0.00
Q5	41.4	262.72	0.00	262.72	0.00
Q10	46.8	262.84	0.00	262.84	0.00

Tableau 33 : Récapitulatif des cotes d'eau en phase d'exploitation en amont et en aval du barrage de Saint-Joire et comparaison avec l'état initial

La courbe de débitance en état de maintenance est présentée en Figure 46 b).

Le barrage est assez rapidement by-passé pour les crues de l'Ornain. L'incidence d'une opération de maintenance sur la ligne d'eau est donc relativement restreinte.



4.2.5 RESULTATS POUR LE BARRAGE DE HOUDELAINCOURT

4.2.5.1 Modélisation de l'état initial

A l'état initial le barrage de Houdelaincourt est modélisé de deux manières différentes en fonction du débit d'injection à l'amont du modèle. Ces deux géométries sont représentées sur la Figure 48 et sur la Figure 49.

La Figure 48 représente la géométrie permettant de simuler le barrage quand les vannes sont relevées au maximum et quand les réhausses sont absentes. Cette configuration reproduit le fonctionnement du barrage lors des crues. La section d'écoulement est maximale pour pouvoir laisser passer un débit le plus important possible.

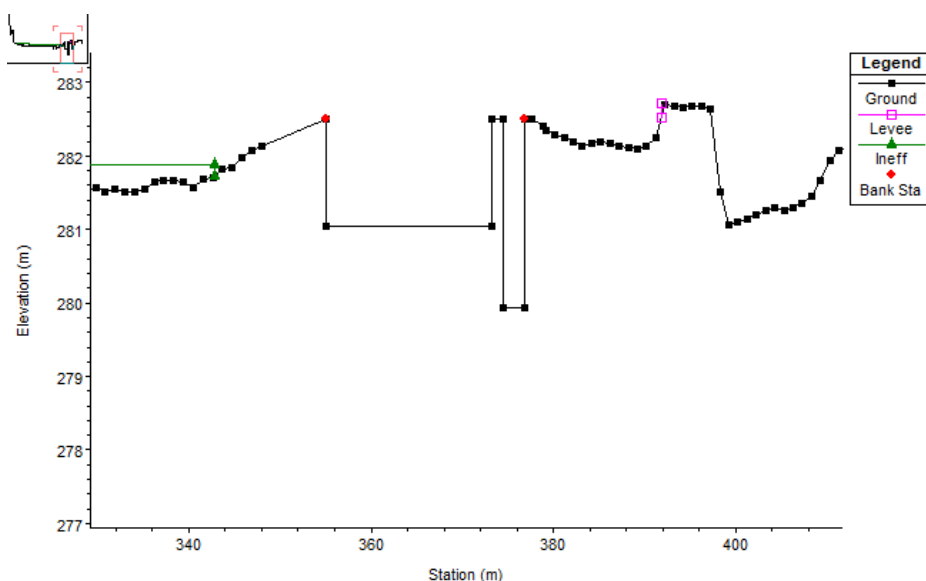


Figure 48 : Extrait modèle du profil en travers au droit du barrage ouvert (pour les crues) de Houdelaincourt

La Figure 49 représente la géométrie permettant de simuler le barrage quand les vannes peuvent s'abaisser de manière à maintenir la RN amont et quand les réhausses sont mises en place. Cette configuration reproduit le fonctionnement du barrage lors des faibles débits. La section d'écoulement est réduite pour pouvoir maintenir la retenue normale en amont du barrage.

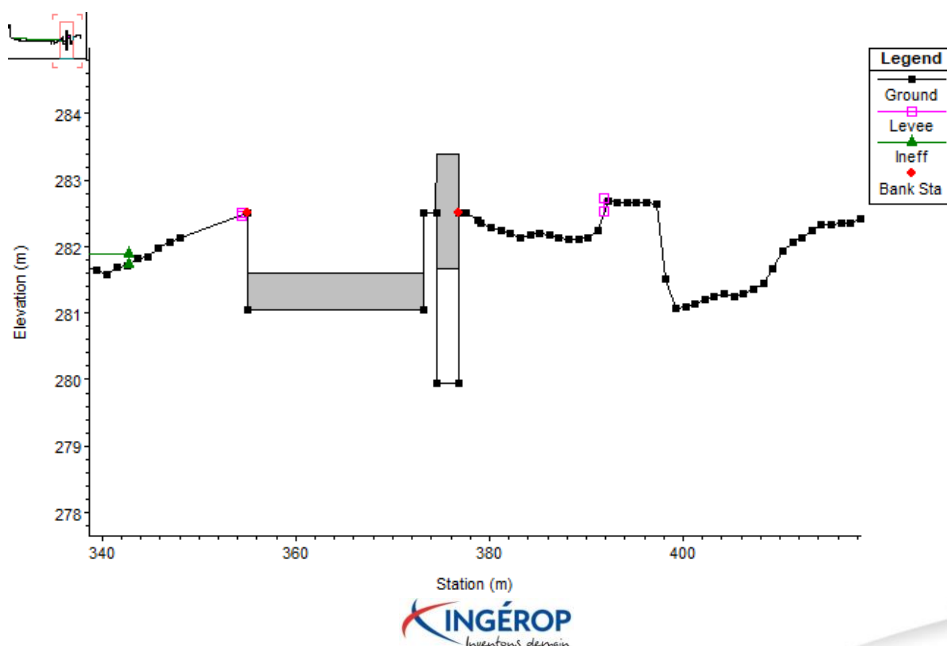




Figure 49 : Extrait modèle du profil en travers au droit du barrage semi-ouvert (pour les faibles débits) de Houdelaincourt

La loi de débitance du barrage de Houdelaincourt à l'état initial est présentée sur le graphique ci-dessous :

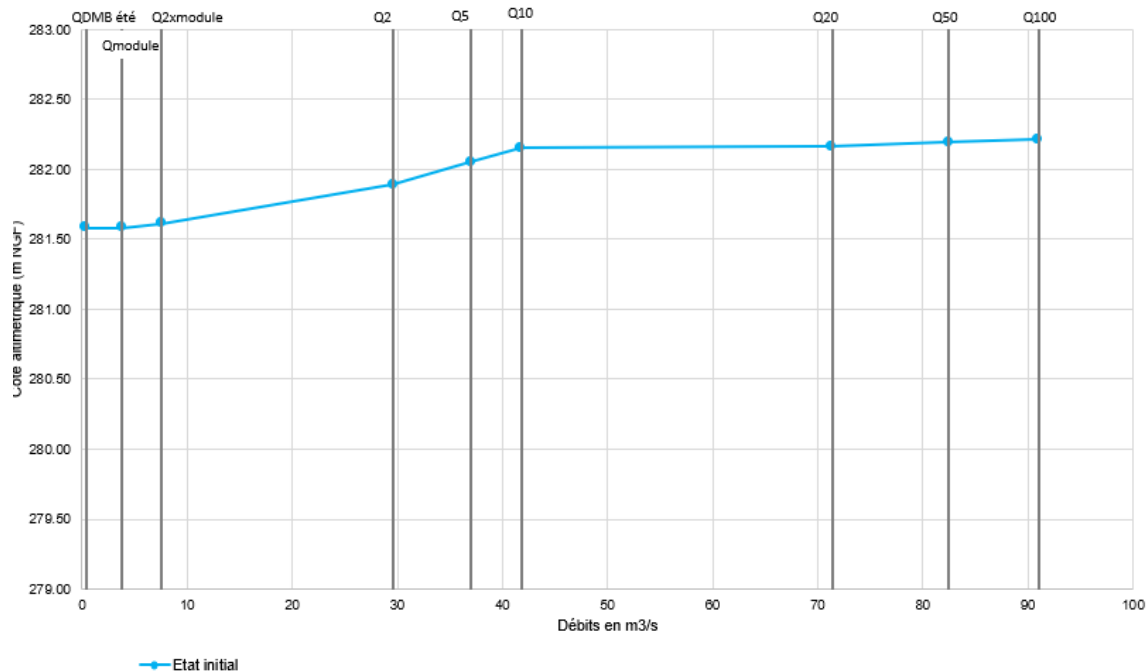


Figure 50 : Courbe de débitance du barrage de Houdelaincourt pour l'état initial

Cette courbe de débitance est extraite des résultats de modélisation hydraulique. Le débit d'effacement du barrage de Houdelaincourt à l'état initial est de 16,5 m³/s. C'est le débit au-dessus duquel toutes les réhausses sont enlevées et les vannes sont complètement relevées. En dessous de ce débit, les réhausses sont mises en place et les vannes commencent à s'abaisser. A cause des réhausses, il est difficile de représenter le fonctionnement du barrage pour maintenir la RN amont.

Les lignes d'eau pour chaque débit simulé à l'état initial sont présentées sur le graphique ci-dessous :

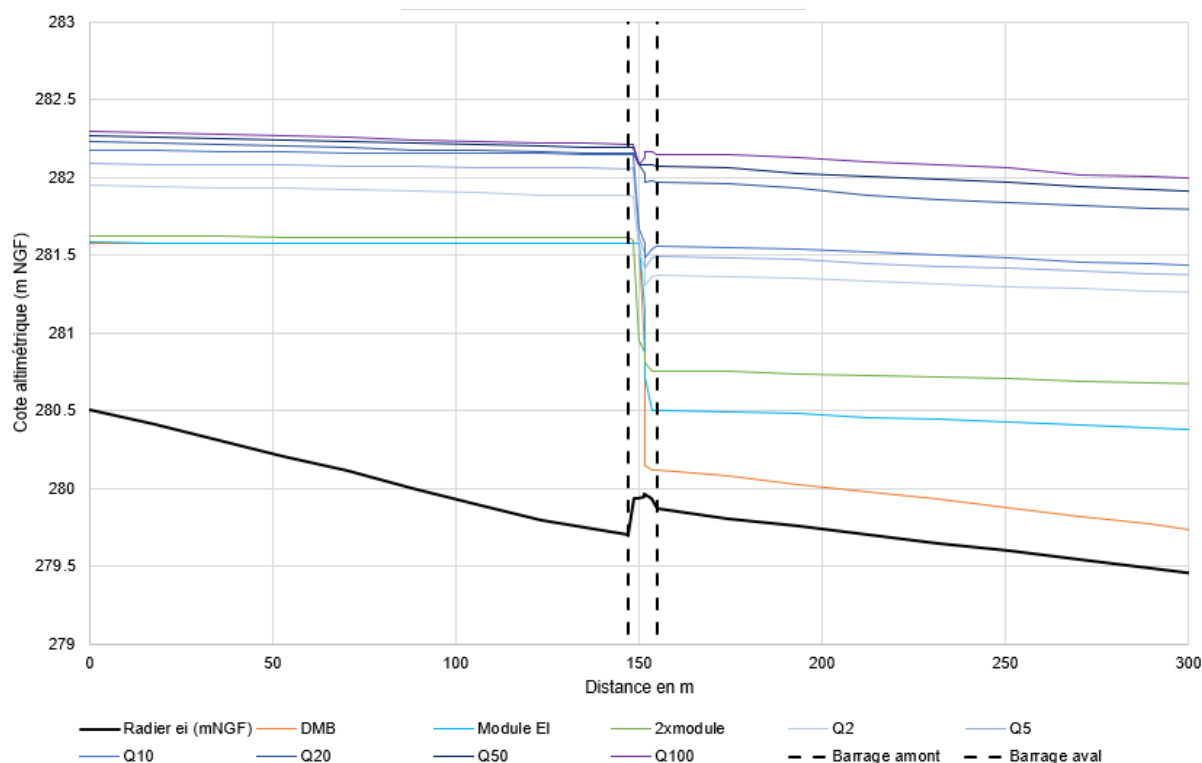


Figure 51 : Lignes d'eau au droit du barrage de Houdelaincourt à l'état initial

D'après la Figure 51, il est possible d'identifier 3 fonctionnements différents sur ce barrage. Tout d'abord, pour les crues supérieures à la vicennale (Q20, Q50 et Q100), les hauteurs d'eau sont quasiment constantes au niveau du barrage. Ensuite pour les crues inférieures (Q2, Q5 et Q10), le barrage provoque une chute de la ligne d'eau au niveau du barrage. Enfin pour les faibles débits, une importante chute est constatée, cela est dû au fonctionnement du barrage pour maintenir la RN amont. Il est essentiel de remarquer que cette forte diminution est due au maintien du niveau d'eau de la RN amont. On peut donc en déduire que le barrage est dénoyé pour les débits inférieurs ou égales à la crue décennale. Pour les débits supérieurs strictement à la crue décennale, le barrage est noyé, son impact sur la ligne d'eau est quasiment nul.

Les cotes d'eau en amont et en aval du barrage de Houdelaincourt pour chacun des débits simulés sont récapitulées dans le tableau 34 :

Situation hydrologique	Vanne	Valeurs de débits (m3/s)	Cote amont (m NGF)	Cote aval (m NGF)
DMB été	Semi-ouverte H =0,04 m	0.36	281.58	280.12
Module	Semi-ouverte H =0,47 m	3.8	281.58	280.50
Double du module	Semi-ouverte H =0,98 m	7.6	281.61	280.75
Q2	Ouverte	29.6	281.89	281.37
Q5	Ouverte	37.0	282.05	281.49
Q10	Ouverte	41.8	282.15	281.56
Q20	Ouverte	71.4	282.16	281.97
Q50	Ouverte	82.5	282.19	282.07
Q100	Ouverte	91.0	282.21	282.15

Tableau 34 : Récapitulatif des cotes d'eau à l'état initial en amont et en aval du barrage de Houdelaincourt



Le PPRI de l'Ornain amont est basé sur l'étude d'Hydrolac de 2006. La cote de référence au droit du barrage n'est pas indiquée. Le débit de la crue de référence sur le secteur d'étude est de 126,6 m³/s (Q100 p73 de l'étude Hydrolac) à Houdelaincourt soit plus important que le débit présentement estimé. La Figure 52 présente la cartographie des cotes de référence du PPRI.

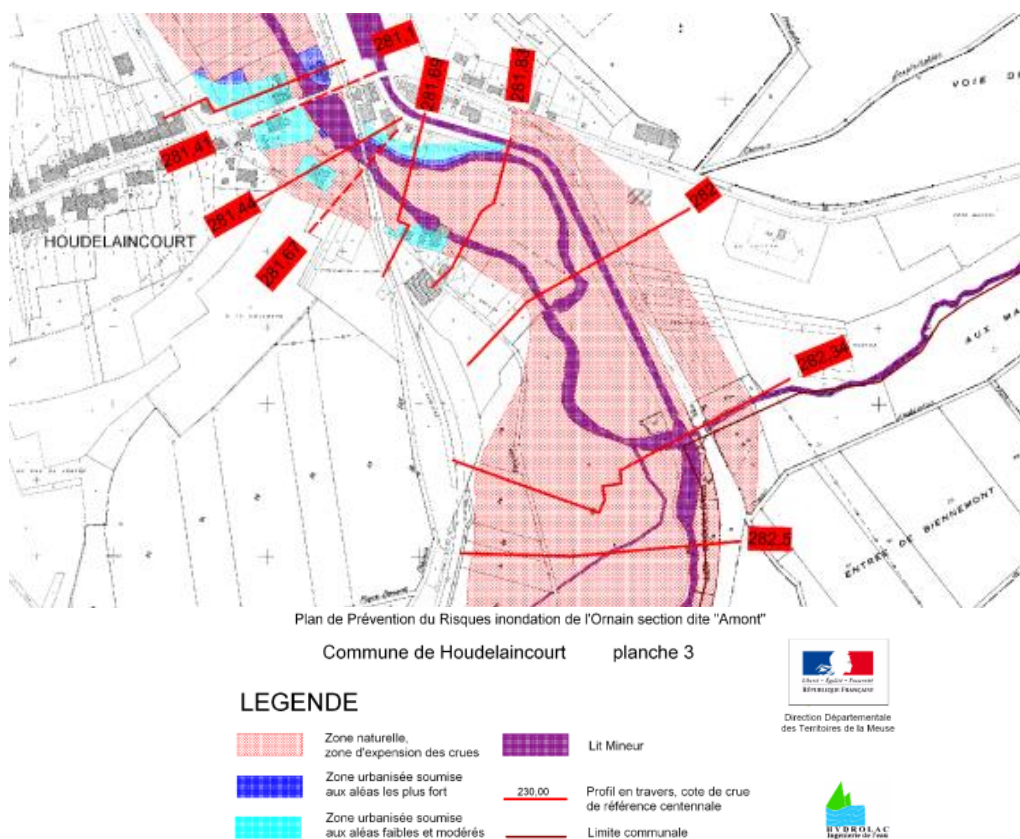


Figure 52 : Cartographie du PPRI de l'Ornain sur le secteur amont sur la commune de Houdelaincourt

Afin de vérifier le calage du modèle, une simulation avec le débit du PPRI a été réalisée. Les résultats sont présentés sur la Figure 53.

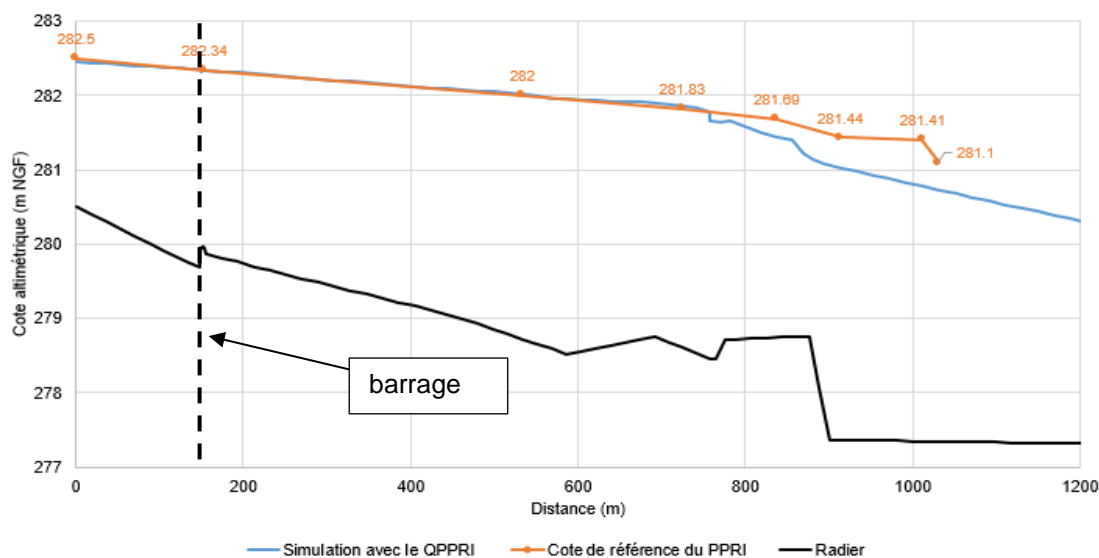


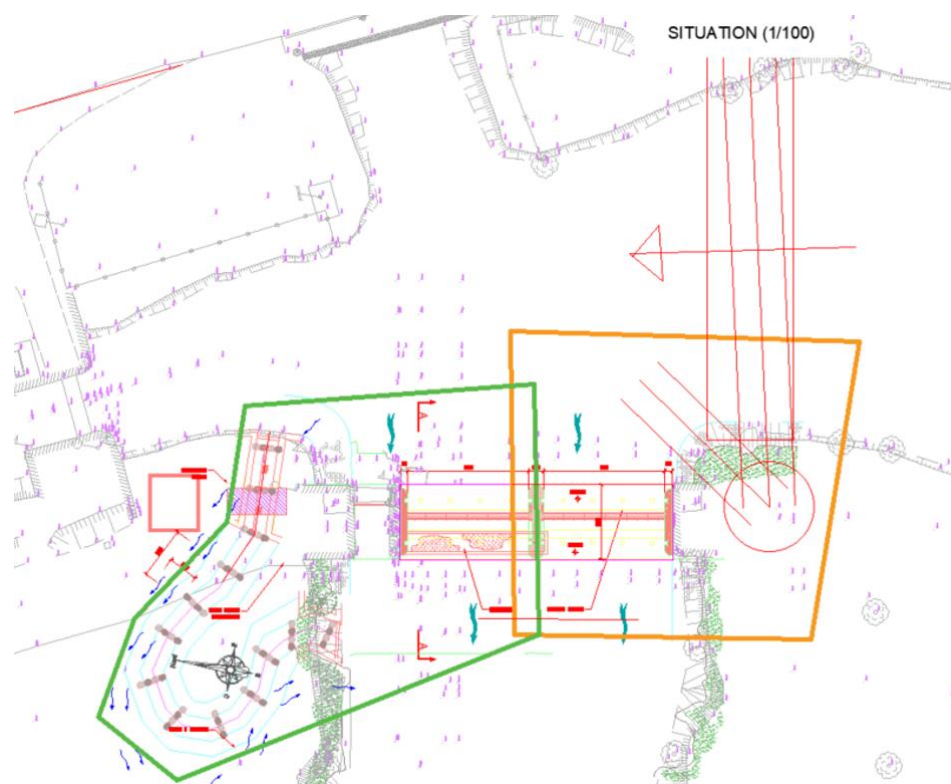
Figure 53 : Vérification du calage du modèle de Saint-Joire sur le PPRI de l'Ornain



On observe que globalement les deux lignes d'eaux sont très proches jusqu'à 700 m en aval du barrage. Les différences notables plus en aval sont observées au droit des profils complémentaires réalisés par le géomètre en 2015. Les autres profils en travers, à l'exception de ceux au droit du barrage, sont issus du PPRI d'où cette similitude avec les résultats du PPRI sur le secteur d'étude.

4.2.5.2 Modélisation de la phase de travaux

Le phasage travaux du barrage de Houdelaincourt est composé de deux phases présentées ci-après.



 : Phase 1  : Phase 2

Figure 54 : Phasage des travaux du barrage de Houdelaincourt

La Phase 1 consiste en la réalisation de la passe en rive gauche. Les écoulements sont dirigés en rive droite vers la passe existante et la vanne de décharge.

La Phase 2 consiste en la réalisation de la passe en rive droite et de la passe-à-poisson en rive droite. Les écoulements passeront par la passe nouvellement réalisée. La mise hors d'eau des espaces de chantier est réalisée grâce à des batardeaux.

La phase 1 est la plus pénalisante du point de vue hydraulique sur les crues Q5 à Q100 et la phase 2 l'est pour la crue Q2.

En phase travaux, le barrage de Houdelaincourt et le chantier sont représentés de la manière suivante :

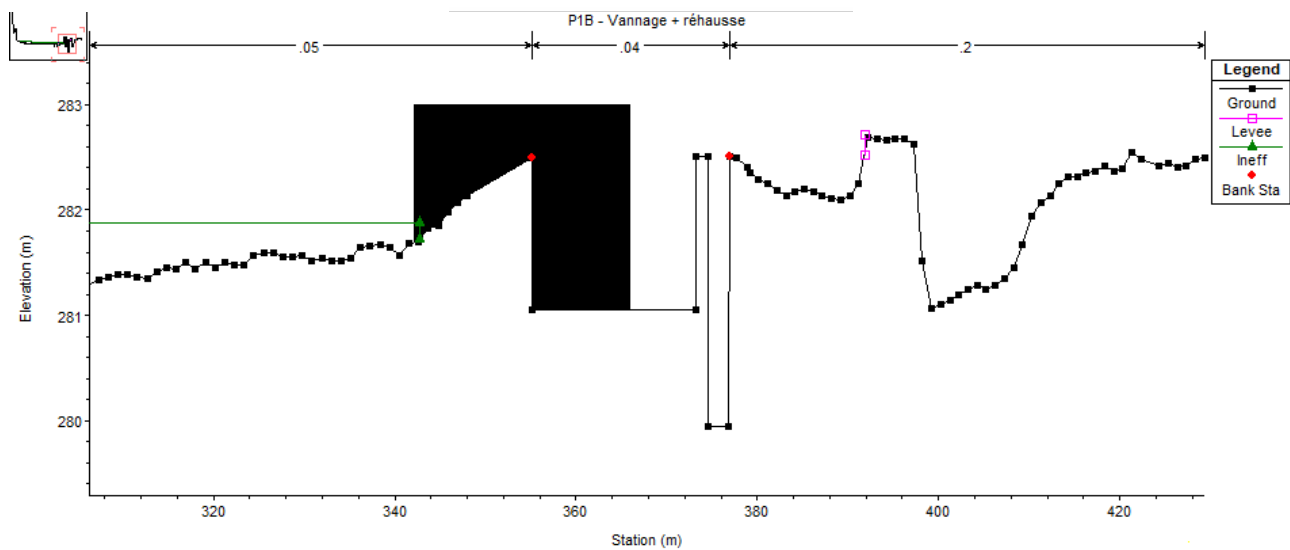


Figure 55 : Extrait modèle du profil en travers au droit du barrage de Houdelaincourt en phase travaux 1

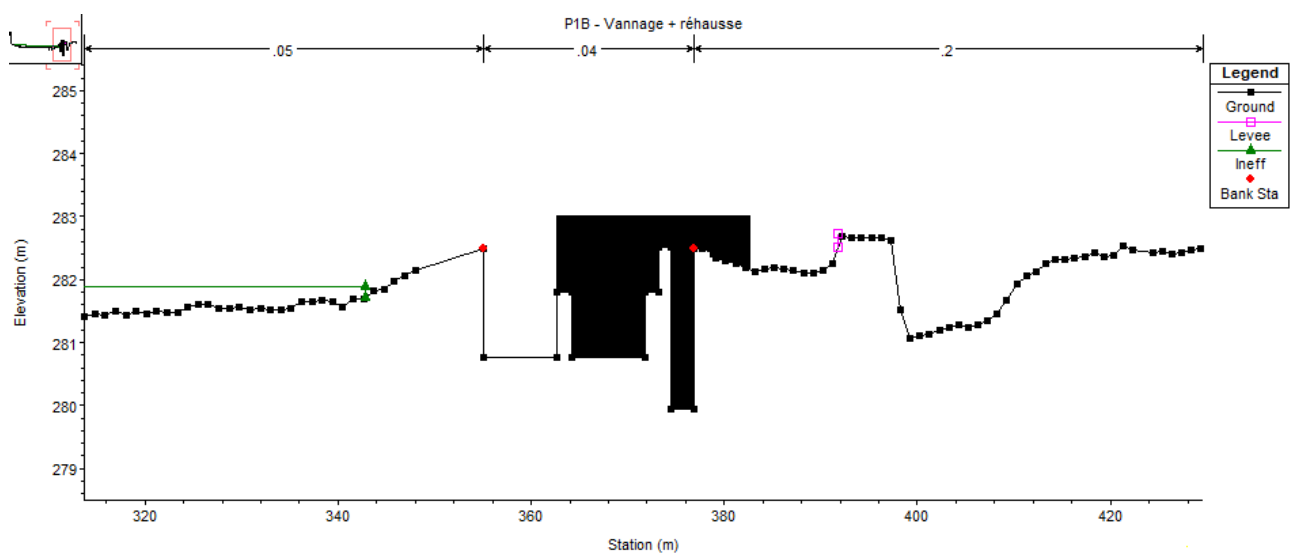


Figure 56 : Extrait modèle du profil en travers au droit du barrage de Houdelaincourt en phase travaux 2

L'objectif étant de mettre hors d'eau le chantier pour une crue décennale ou quinquennale, nous choisissons de présenter les résultats de la phase de travaux 1



Les lignes d'eau pour chaque débit simulé en phase travaux sont présentées sur le graphique en Figure 57 a).

Les cotes d'eau en amont et en aval du barrage de Houdelaincourt pour chacun des débits simulés en phase travaux et comparés à l'état initial sont récapitulées dans le tableau 35 :

Situation hydrologique	Valeurs de débits (m3/s)	Cote amont (m NGF) Phase travaux	Différence par rapport à l'état initial (m)	Cote aval (m NGF) Phase travaux	Différence par rapport à l'état initial (m)
Q2	29.6	282.4	0.51	281.34	-0.03
Q5	37.0	282.11	0.06	281.45	-0.04
Q10	41.8	282.11	-0.04	281.51	-0.05
Q100	91.0	282.23	0.02	282.15	0.00

Tableau 35 : Récapitulatif des cotes d'eau en phase travaux en amont et en aval du barrage de Houdelaincourt et comparaison avec l'état initial

Au droit de l'ouvrage, l'incidence maximale en crue est de :

- 0,52 m pour la Q2,
- 0,48 m pour la Q5,
- 0,61 m pour la Q10,
- 0,03 m pour la Q100.

Des difficultés ont été connues lors de la réalisation du modèle hydraulique de ce scénario pour le barrage d'Houdelaincourt. La représentation de la zone inondable ainsi que des petits affluents n'est pas correctement prise en compte par les levés topographiques existants et sont de plus difficilement représentables avec un modèle 1D. Les résultats obtenus entre Q2 et Q10 sont partiellement incohérents.

Dès que le niveau d'eau dépasse la cote de la berge rive gauche, la zone d'expansion de crue en rive gauche du barrage permet de limiter les incidences sur la ligne d'eau. Cela explique ainsi pourquoi les incidences sont les plus importantes pour la crue quinquennale. Toutefois, le modèle 1D ne permet pas de représenter fidèlement les écoulements dans la plaine d'inondation.

Aucun enjeu majeur n'est présent au droit ou en amont de l'ouvrage d'Houdelaincourt, ainsi nous arrêtons les investigations à ce stade.

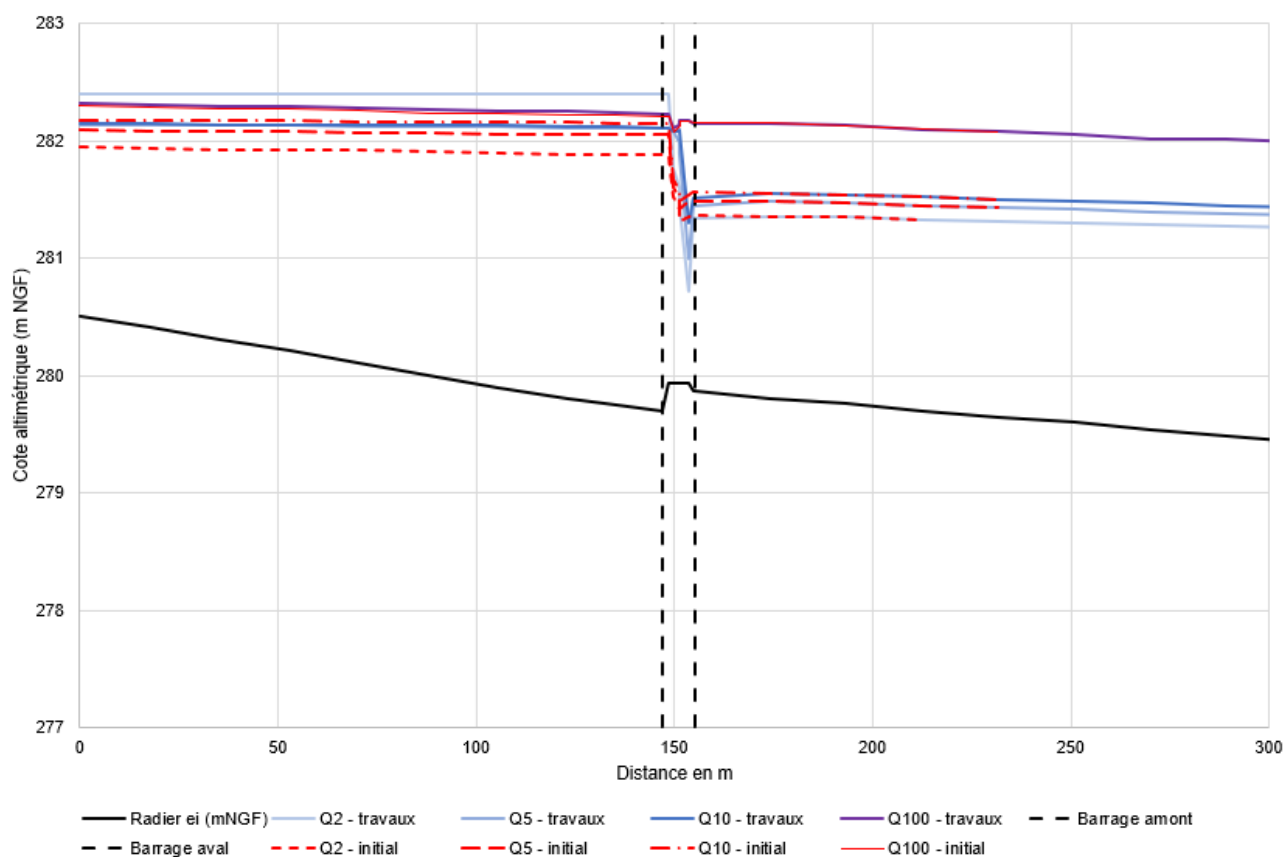
L'évaluation des incidences en phase travaux 1 sur la débitance du barrage de Houdelaincourt est présentée en Figure 57 b).

Au regard des incidences, les batardeaux seront dimensionnés pour prévenir l'inondation de la zone de chantier pour une crue Q5.

NOTA : Une marge de sécurité de 30 cm vis-à-vis de ces cotes d'eau devra être conservée pour prendre en compte les incertitudes de l'hydrologie (+10 cm), du modèle hydraulique (+10 cm) et les vagues en cas de vent (+10 cm).



a) Lignes d'eau au droit du barrage de Houdelaincourt en phase travaux 1





b) Evaluation des incidences en amont du barrage de Houdelaincourt en phase travaux 1

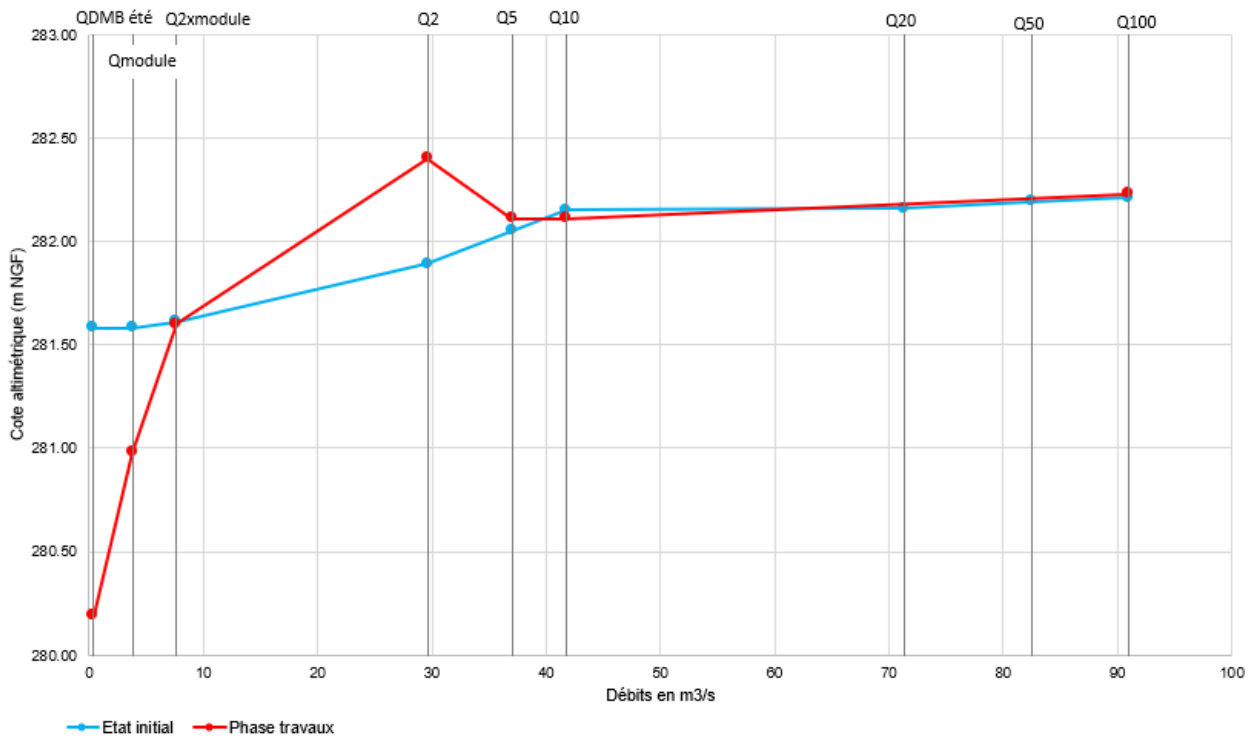


Figure 57 : Lignes d'eau au droit du barrage de Houdelaincourt en phase travaux 1 et comparaison avec l'état initial

4.2.5.3 Modélisation de la phase d'exploitation

En phase d'exploitation (état projet), le barrage de Houdelaincourt sera constitué de 2 nouvelles passes, fonctionnant chacune grâce à une vanne clapet et de la passe avec les vannes de régulation actuelles. Chaque vanne clapet aura une hauteur d'environ 0,8 m et une largeur de 7,55 m. Lorsque les vannes seront totalement fermées, la cote de retenue atteindra 281,65 mNGF. Le fonctionnement de ce nouveau barrage est illustré sur la Figure 58.

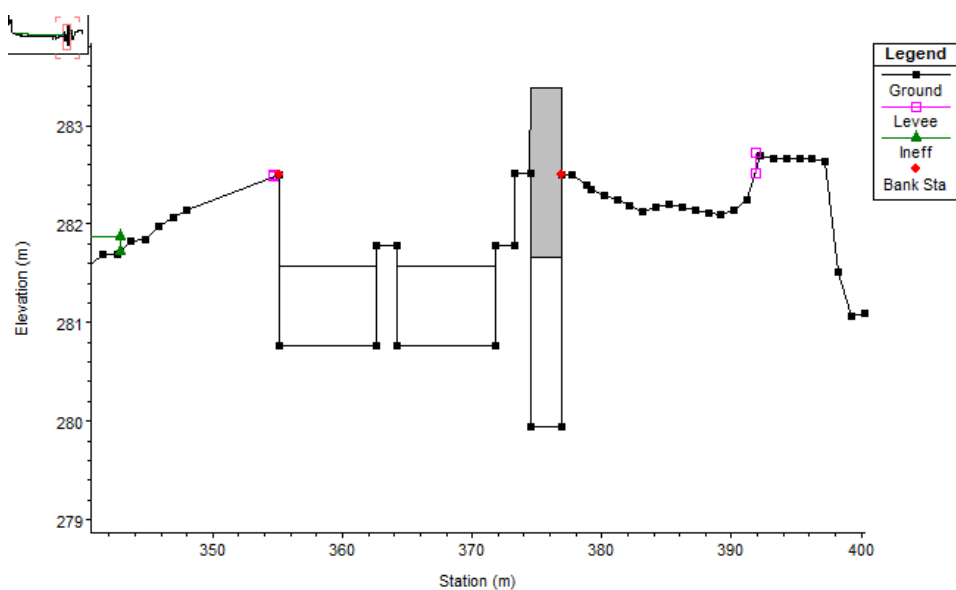


Figure 58 : Extrait modèle du profil en travers au droit du barrage de Houdelaincourt en phase d'exploitation



Les lignes d'eau pour chaque débit simulé en phase d'exploitation sont présentées sur le graphique en Figure 59 a).

Les cotes d'eau en amont et en aval du barrage de Houdelaincourt pour chacun des débits simulés en phase d'exploitation et comparés à l'état initial sont récapitulées dans le tableau 36 :

Situation hydrologique	Valeurs de débits (m ³ /s)	Cote amont (m NGF) Projet	Différence par rapport à l'état initial (m)	Cote aval (m NGF) Projet	Différence par rapport à l'état initial (m)
DMB été	0.36	281.58	0.00	280.12	0
Module	3.8	281.57	-0.01	280.50	0
Double du module	7.6	281.58	-0.03	280.75	0
Q2	29.6	281.70	-0.19	281.37	0
Q5	37.0	281.88	-0.17	281.49	0
Q10	41.8	282.02	-0.13	281.56	0
Q20	71.4	282.15	-0.01	281.97	0
Q50	82.5	282.18	-0.01	282.07	0
Q100	91.0	282.20	-0.01	282.15	0

Tableau 36 : Récapitulatif des cotes d'eau en phase d'exploitation en amont et en aval du barrage de Houdelaincourt et comparaison avec l'état initial

D'après la Figure 59 a), les évolutions des lignes d'eau pour l'état projet sont semblables à celles obtenues à l'état initial.

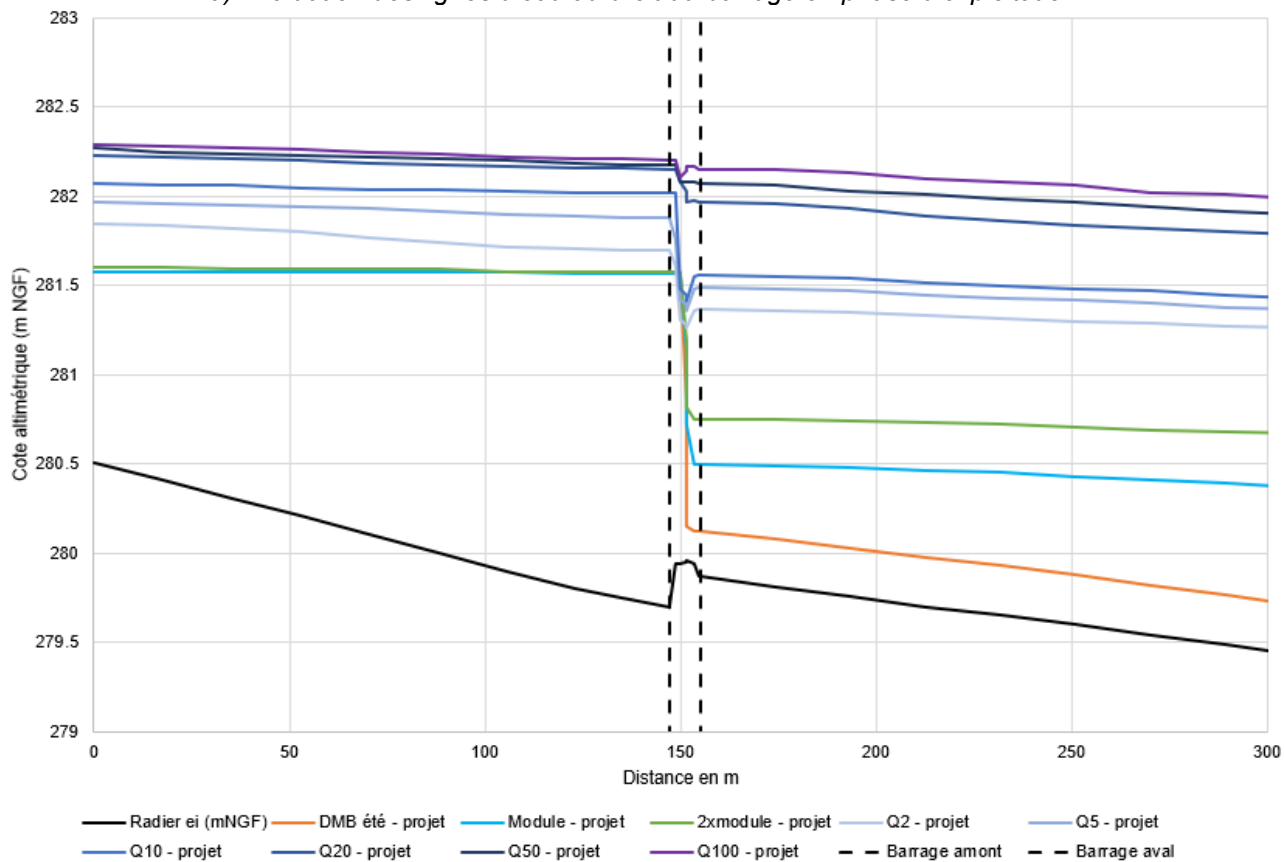
La nouvelle loi de débitance est déduite des modélisations hydrauliques de l'état projet . Elle est présentée en Figure 59 b).

La débitance du barrage à l'état projet augmente pour les débits de crue. En effet, le débit d'effacement du nouveau barrage sera de 29,6 m³/s. De plus d'après le Tableau 38, l'état projet permet de diminuer la hauteur d'eau pour la majorité des débits. Cette diminution est la plus importante pour la crue quinquennale.

Le projet n'augmentera pas les lignes d'eau en crue et par conséquent le risque d'inondation pour les enjeux sur le secteur d'étude.



a) Evaluation des lignes d'eau au droit du barrage en phase d'exploitation





b) Débitance du barrage de Houdelaincourt en phase d'exploitation

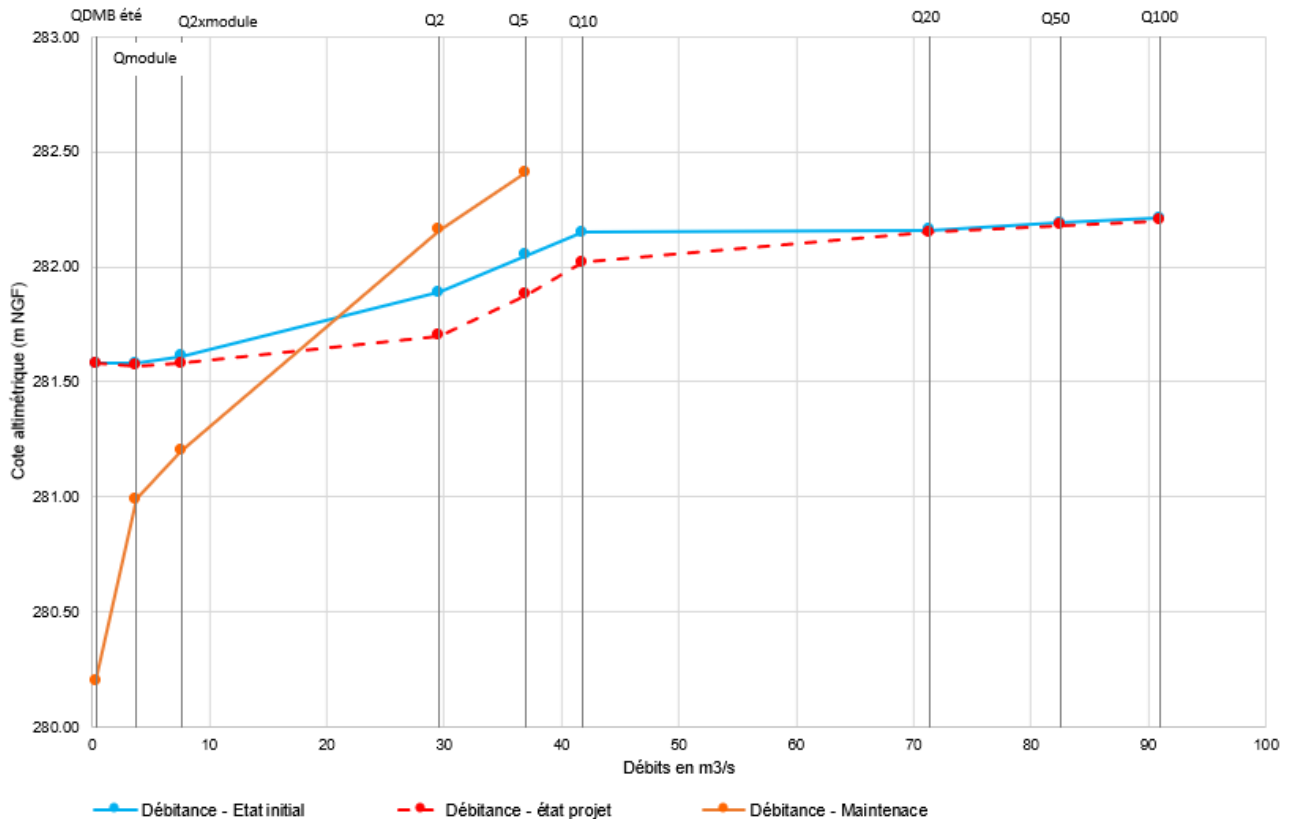


Figure 59 : Lignes d'eau au droit du barrage de Houdelaincourt en phase d'exploitation et comparaison avec l'état initial

4.2.5.4 Modélisation d'une opération de maintenance (1 passe batardée) en phase d'exploitation

La modélisation d'une opération de maintenance du barrage de Houdelaincourt est réalisée sur l'état projet en obstruant une seule des passes du barrage.

Les opérations de maintenance se dérouleront préférentiellement en période de basses eaux.

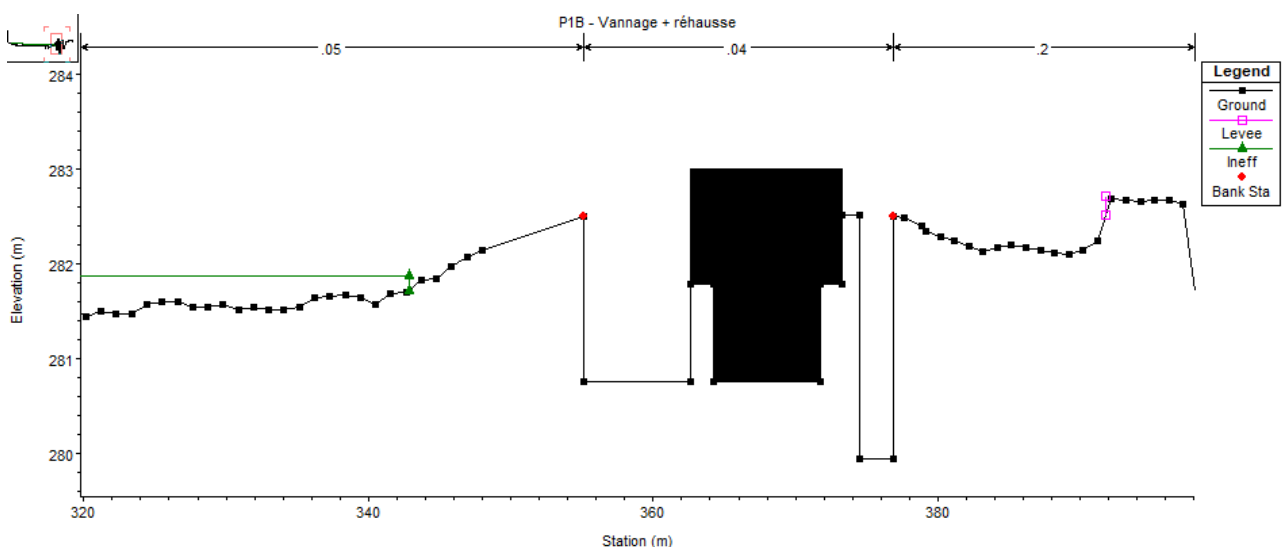


Figure 60 : Extrait modèle du profil en travers au droit du barrage de Houdelaincourt lors d'une opération de maintenance



L'incidence de l'opération de maintenance sur la débitance est évaluée sur les petites crues d'occurrence inférieure à Q10, soit Q2 et Q5.

Les cotes d'eau en amont et en aval du barrage de Houdelaincourt pour chacun des débits simulés en phase d'exploitation lors d'une opération de maintenance et comparés à l'état projet sont récapitulées dans le tableau 37 :

Situation hydrologique	Valeurs de débits (m3/s)	Cote amont (m NGF) Maintenance	Différence par rapport à l'état projet (m)	Cote aval (m NGF) Maintenance	Différence par rapport à l'état projet (m)
Q2	29.6	282.16	0.46	281.37	0.00
Q5	37.0	282.41	0.53	281.49	0.00

Tableau 37 : Récapitulatif des cotes d'eau en phase d'exploitation en amont et en aval du barrage de Houdelaincourt et comparaison avec l'état initial

La courbe de débitance en état de maintenance est présentée en Figure 59 b). Les incidences d'une maintenance d'une passe par rapport à l'état projet sont importantes. Pour la crue quinquennale, elles sont supérieures à 50 cm.



5 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

L'ensemble des modélisations hydrauliques sont réalisées en 1D en régime permanent avec le logiciel HEC-RAS.

Pour les modèles des barrages amont, la topographie du PPRI a été utilisée et complétée avec les relevés géomètre de 2015.

La vérification du calage des modèles sur la crue de référence du PPRI de l'Ornain amont et aval met en évidence des différences significatives entre les cotes d'eau simulées à l'état initial et celles du PPRI (pour un même débit simulé) et cela principalement sur les secteurs où la topographie a été mise à jour. De plus, certains profils en travers ont dû être complétés ou ajoutés en utilisant la donnée du RGE-Alti qui est moins fiable qu'un levé géomètre.

En conséquence, il est possible que les profils topographiques du PPRI ne soient plus représentatifs du lit mineur et majeur de l'Ornain (évolution morphologique du cours d'eau en une vingtaine d'année). Le calage du modèle de Mussey a pu être concluant certainement parce que, sur ce secteur d'étude, le tracé de l'Ornain est beaucoup plus contraint.

Ainsi, les modèles hydrauliques réalisés représentent de manière fiable les écoulements de l'Ornain uniquement sur de petits tronçons localisés au droit des barrages avec une donnée topographique qu'on sait à jour mais limitées aux valeurs de débits maintenus dans le lit mineur. En effet, en 1D la représentation du fonctionnement des zones d'expansion des crues de l'Ornain reste approximative, ainsi la fiabilité des modèles diminue pour les débits de crue. Des compléments topographiques et bathymétriques permettraient de fiabiliser les résultats (Cf. Annexe 2).

Ces modèles permettent toutefois d'évaluer les incidences relatives des différents projets au droit des barrages.

Dés difficultés ont été connues lors de la réalisation du modèle hydraulique du barrage d'Houdelaincourt, notamment pour l'évaluation des incidences lors de la phase travaux. La représentation de la zone inondable ainsi que des petits affluents n'est pas correctement prise en compte par les levés topographiques existants et sont de plus difficilement représentables avec un modèle 1D.

Aucun enjeu majeur n'est présent au droit ou en amont de l'ouvrage d'Houdelaincourt, ainsi nous arrêtons les investigations à ce stade.

La synthèse des résultats est présentée dans le Tableau 38 à la page suivante.



Barrage		Mussey							
Etat		Initial		Travaux		Projet		Maintenance	
Débit		Amont	Aval	Amont	Aval	Amont	Aval	Amont	Aval
DMB été	0.81	162.87	160.16			162.85	160.16		
Module	11.0	162.86	160.55			162.85	160.55		
Double du module	22.0	162.99	160.76			162.85	160.76		
Q2	77.0	163.35	161.52	163.48	161.52	163.06	161.52	163.48	161.52
Q5	104.4	163.62	161.86	164.19	161.80	163.31	161.86	163.83	161.86
Q10	121.5	163.77	162.07	164.61	161.99	163.45	162.07		
Q20	139.5	163.90	162.29			163.60	162.29		
Q50	161.3	164.04	162.55			163.76	162.55		
Q100	178.0	164.13	162.74	165.44	162.63	163.89	162.74		
Barrage		Chanteraine							
Etat		Initial		Travaux		Projet		Maintenance	
Débit		Amont	Aval	Amont	Aval	Amont	Aval	Amont	Aval
DMB été	0.52	177.30	175.83			177.39	175.83		
Module	10.3	177.40	176.29			177.39	176.30		
Double du module	20.6	177.40	176.55			177.39	176.57		
Q2	74.1	177.58	177.57	177.97	177.59	177.60	177.60	177.66	177.60
Q5	99.7	177.98	177.96	178.44	177.98	177.99	177.99	178.07	177.99
Q10	115.7	178.19	178.18	179.08	178.21	178.22	178.21		
Q20	132.5	178.41	178.40			178.43	178.42		
Q50	153.0	178.65	178.64			178.67	178.67		
Q100	168.6	178.82	178.82	179.53	178.84	178.85	178.84		
Barrage		Saint-Joire							
Etat		Initial		Travaux		Projet		Maintenance	
Débit		Amont	Aval	Amont	Aval	Amont	Aval	Amont	Aval
DMB été	0.32	261.67	261.09			261.66	261.09		
Module	4.4	261.74	261.51			261.66	261.51		
Double du module	8.7	261.75	261.75			261.75	261.75		
Q2	33.1	262.53	262.52	262.55	262.52	262.53	262.52	262.54	262.52
Q5	41.4	262.72	262.72	262.73	262.72	262.72	262.72	262.72	262.72
Q10	46.8	262.84	262.84	262.85	262.84	262.84	262.84	262.84	262.84
Q20	78.8	263.44	263.44			263.44	263.44		
Q50	92.3	263.72	263.71			263.72	263.71		
Q100	101.9	263.95	263.94	263.95	263.94	263.95	263.94		
Barrage		Houdelaincourt							
Etat		Initial		Travaux		Projet		Maintenance	
Débit		Amont	Aval	Amont	Aval	Amont	Aval	Amont	Aval
DMB été	0.36	281.58	280.12			281.58	280.12		
Module	3.8	281.58	280.50			281.57	280.50		
Double du module	7.6	281.61	280.75			281.58	280.75		
Q2	29.6	281.89	281.37	282.40	281.34	281.70	281.37	282.16	281.37
Q5	37.0	282.05	281.49	282.11	281.45	281.88	281.49	282.41	281.49
Q10	41.8	282.15	281.56	282.11	281.51	282.02	281.56		
Q20	71.4	282.16	281.97			282.15	281.97		
Q50	82.5	282.19	282.07			282.18	282.07		
Q100	91.0	282.21	282.15	282.23	282.15	282.20	282.15		

Tableau 38 : Synthèse des résultats de modélisations hydrauliques

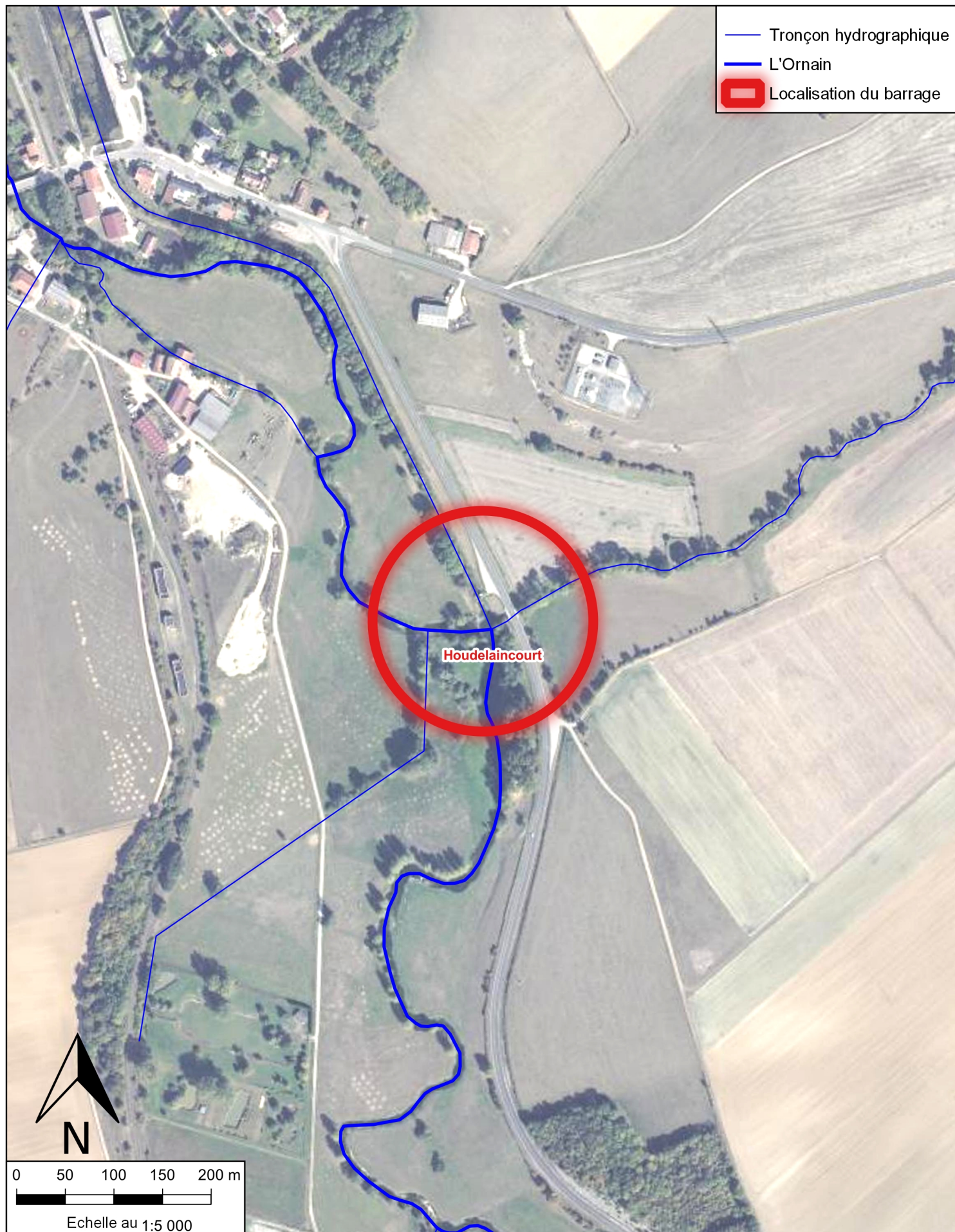


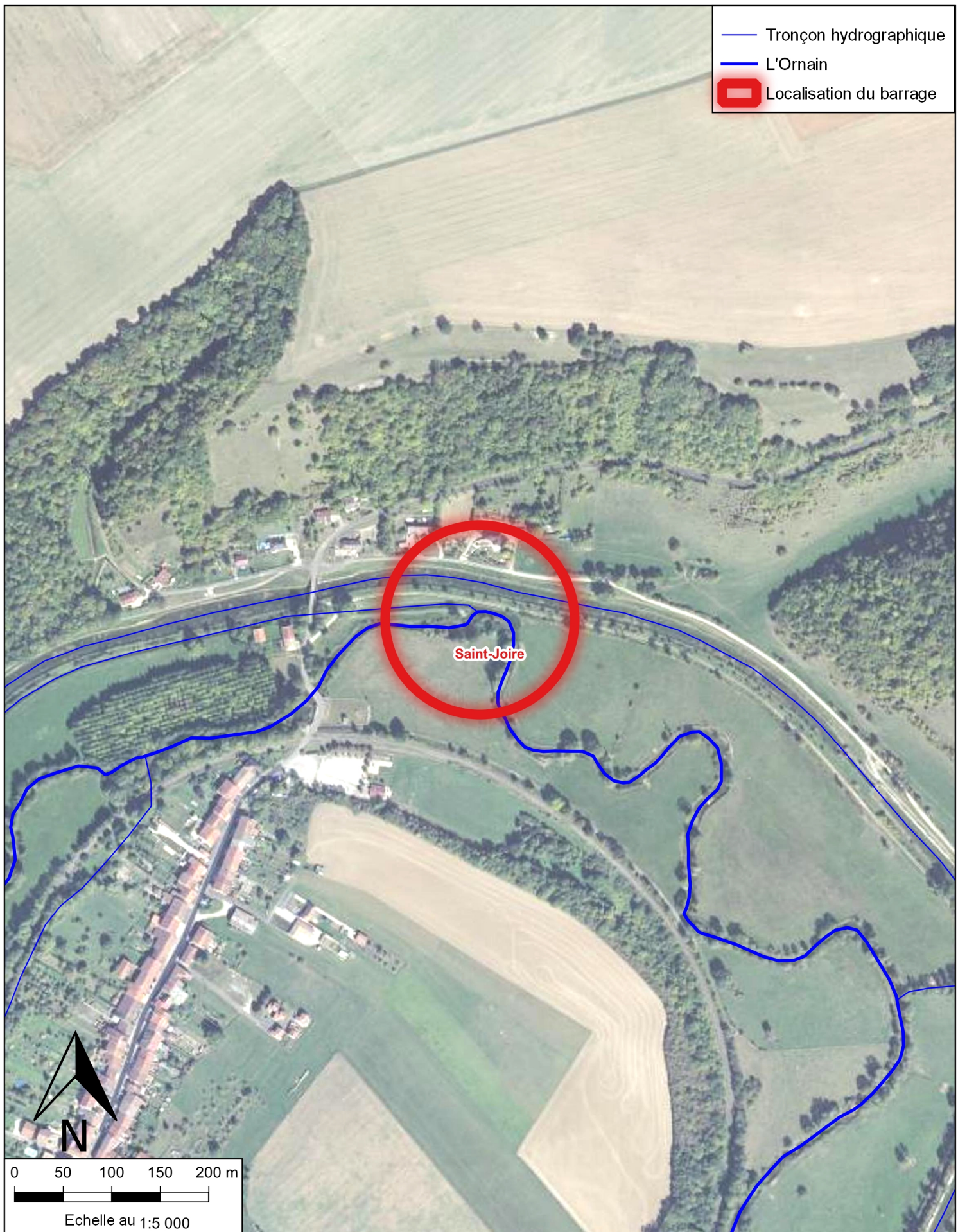
ANNEXES

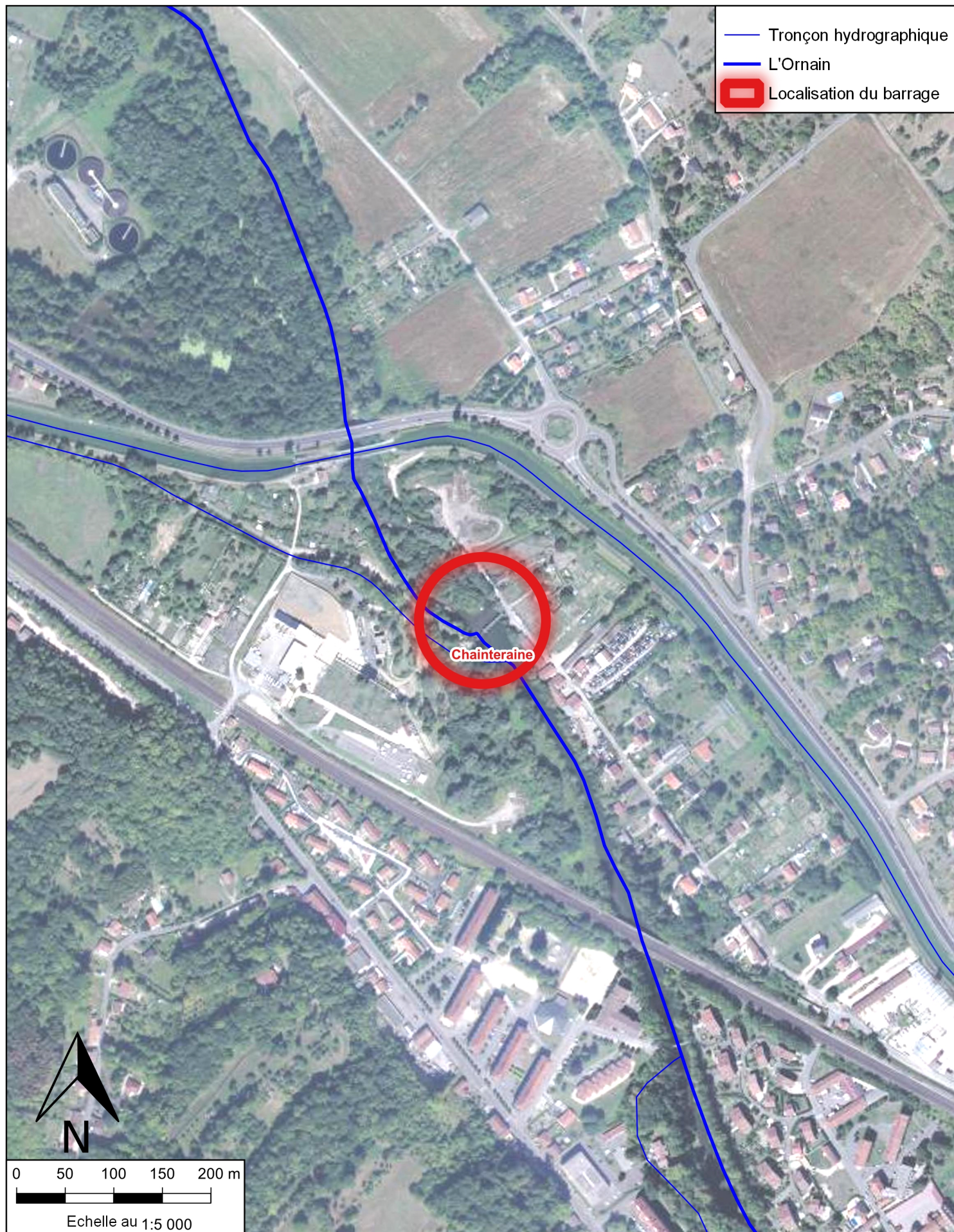
Annexe 1 : Vue aérienne au 1/5000 au droit des barrages

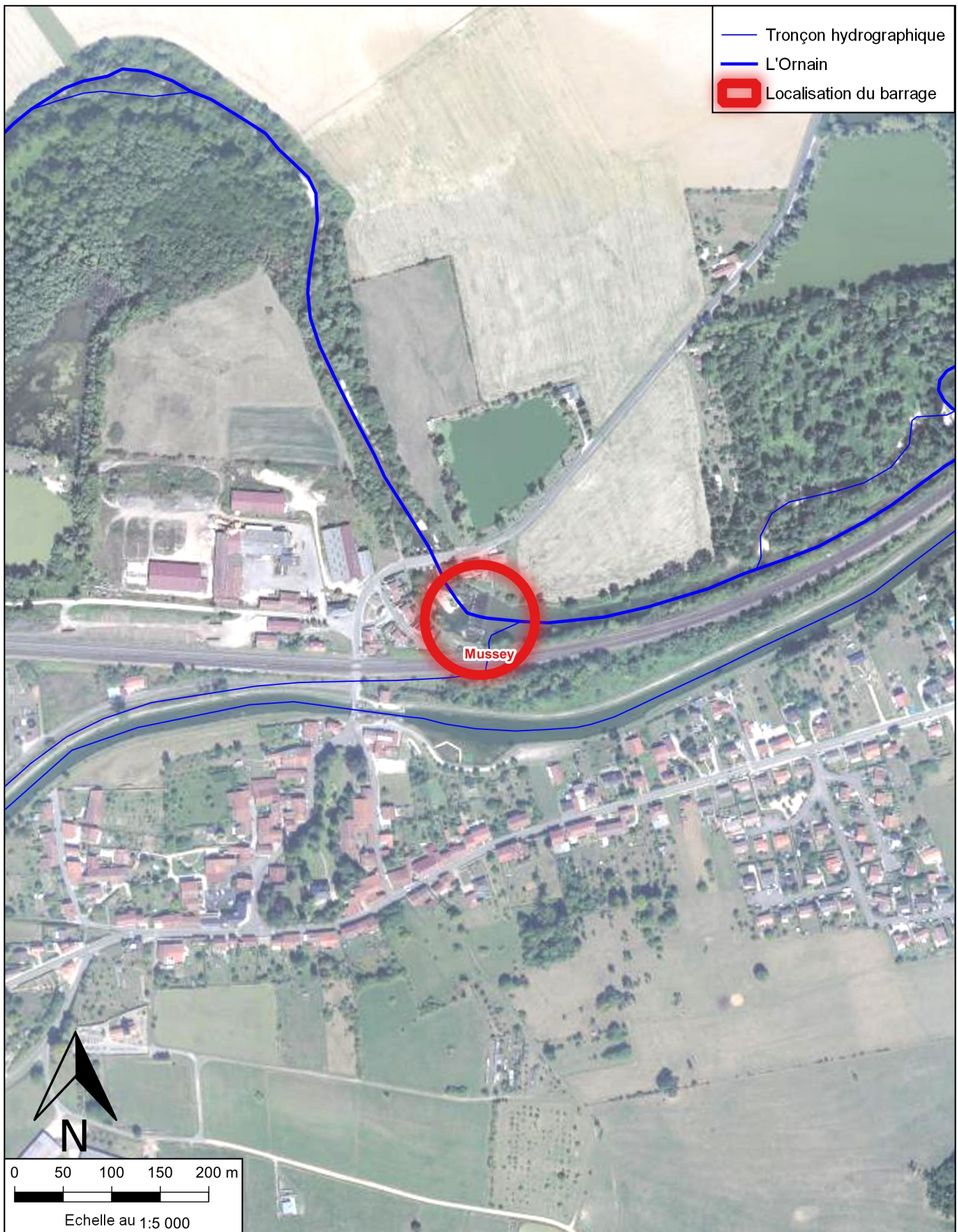


Annexe 1 : Vue aérienne au 1/5000 au droit des barrages











Annexe 2 : Compléments topographiques



Besoins de compléments topographiques

Les données topographiques utilisées pour la construction des modèles hydrauliques sont les suivantes :

- les relevés du géomètre BEC2i sas Géomètres Topographes Associés effectués en 2015 contenant des profils en travers de tous les barrages et pour les barrages de Mussey et Chanteraine de profils en travers supplémentaires en aval du barrage ;
- les relevés topographiques réalisés dans le cadre des PPRI de l'Ornain amont, centre et aval (1999-2001) ;
- les relevés topographiques réalisés en décembre 1983 par l'équipe topographique du Service de la Navigation de Nancy, Arrondissement de Bar-Le-Duc et en novembre 1984 par la DDE 55 ;
- le MNT RGE-Alti (1m) de l'IGN.

Il est ressorti des analyses des levés topographiques :

- Un manque de profils en travers est notable à l'amont des barrages. En conséquence, il est actuellement impossible d'évaluer sur quelle distance la phase travaux de chacun des barrages a une incidence sur la ligne d'eau amont ;
- L'étendue de certains profils en travers est insuffisante. En conséquence, certains profils ont dû être prolongés à partir de la donnée RGE-Alti pour modéliser les conditions de crues, ce qui est moins fiable qu'un relevé géomètre ;
- Un doute sur la validité des données topographiques anciennes.

On notera toutefois que seuls les barrages de Mussey et Chanteraine sont concernées par la présence de bâtiments d'habitation ou d'enjeux fort à proximité de l'Ornain et des zones de travaux.

Des compléments topographiques au droit de ces 2 barrages permettraient de fiabiliser les résultats des modélisations hydrauliques. Les compléments envisagés sont présentés dans les paragraphes suivants.

1) Barrage de Mussey

Les compléments topographiques proposés pour le barrage de Chanteraine inclus :

- Le prolongement de 6 profils en travers existants ;
- Le levé de 9 profils en travers complémentaires en amont du barrage ;
- Le levé de la face aval du pont de la rue de Bussy en aval du barrage.

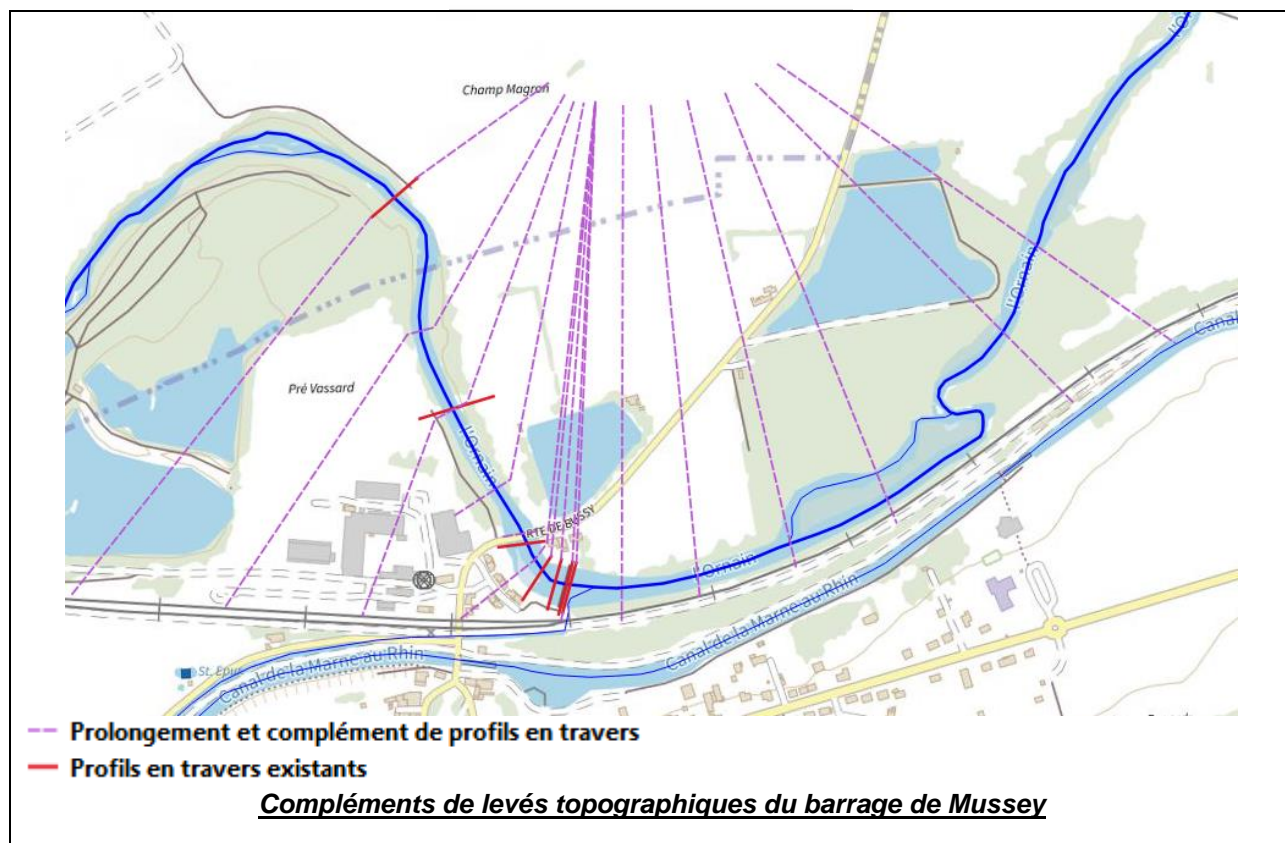
Ils sont présentés sur la figure ci-après.

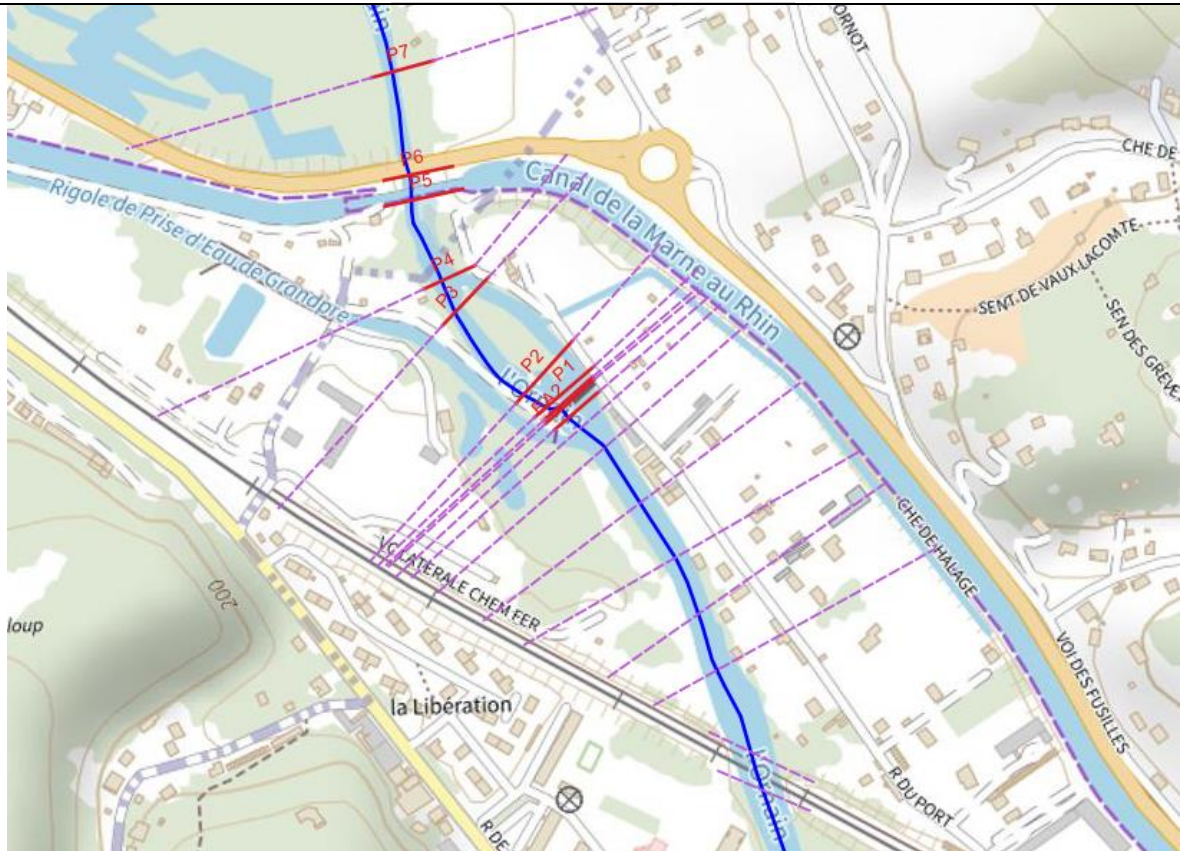
2) Barrage de Chanteraine

Les compléments topographiques proposés pour le barrage de Chanteraine inclus :

- Le prolongement de 8 profils en travers existants ;
- Le levé de 6 profils en travers complémentaires en amont du barrage ;
- Le levé des faces du pont de la voie ferrée en amont du barrage.

Ils sont présentés sur la figure ci-après.





- ### Compléments de levés topographiques du barrage de Chanteraine