

SNCF

Etude hydraulique complémentaire des ouvrages sur Seine du projet EOLE – Zone de Bezons

Etude de cas
Impact de la crue de 1910 sur l'état projet
Impact de la crue de 1982 pendant la phase travaux





hydratec

groupe setec

Immeuble Central Seine

42-52 quai de la Rapée

75582 Paris Cedex 12

Email : hydra@hydra.setec.fr

T : 01 82 51 64 02

F : 01 82 51 41 39

Directeur d'affaire : MTR

Responsable d'affaire : MTR

N°affaire : 01634001

Fichier : 34001_Note_EOLE_Impact_Bezons-v2_1982.docx

Version	Date	Etabli par	Vérifié par	Nb pages	Observations / Visa
1	11/09/14	DVU	BST	57	Prise en compte des modifications du projet
2	16/09/14	DVU	BST	57	Modifications suite aux remarques SNCF

TABLE DES MATIERES

1 Contexte et objectif..... 6

2 Données générales 7

2.1 Collecte des données..... 7

2.2 Caractéristiques du site..... 7

2.3 Construction du modèle de simulation numérique..... 11

2.4 Hydrologie des crues de la Seine 14

2.4.1 Période de retour des crues 14

2.4.2 Remarque sur l'évolution des lignes d'eau, suite aux modifications de l'hydraulicité du lit de la Seine depuis le début du siècle 16

3 Calage du modèle 17

4 Etat de référence 22

4.1 Etablissement du débit et de la ligne d'eau au droit du projet 22

4.2 Présentation de l'ouvrage à l'état actuel 22

4.3 Calcul de la perte de charge à l'état actuel 24

4.3.1 Bras de Marly (Rive gauche) 25

4.3.2 Bras de la rivière neuve (Rive droite) 26

4.3.3 Perte de charge à l'état actuel 26

5 Etat projet (état définitif) 27

5.1 Méthode de Bradley 32

5.1.1 Bras de Marly (Rive gauche) 33

5.1.2 Bras de la rivière neuve (Rive droite) 33

5.1.3 Impact du projet calculé par la méthode de Bradley 33

5.1.4 Calcul des pertes de charge pour un intervalle de confiance à 95%..... 34

5.2 Méthode par modélisation 2D 35

5.2.1 Modélisation du lit 2D 35

5.2.2 Calcul de la perte de charge par la méthode des quantités de mouvement..... 38

6 Phase travaux..... 41

6.1 Présentation de la phase travaux..... 41

6.2 Bras de Marly (rive gauche) 46

6.2.1 Scénario 1/3..... 46

6.2.2 Scénario 2..... 46

6.3 Bras de la rivière neuve (rive droite) 47

6.3.1 Scénario 1/3..... 47

6.3.2 Scénario 2..... 48

6.4 Perte de charge pour la phase travaux – crue de 1982..... 48

6.5 Sensibilité de la ligne d'eau par rapport à la perte de charge 49

7 Synthèse..... 52

Annexes 53

Présentation du logiciel HYDRA-RIV 53

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1-1 : Contexte du projet..... 6

Figure 2-1 : Plan de situation au droit du franchissement de la Seine 8

Figure 2-2 : Zonage réglementaire du PPRI de Bezons 9

Figure 2-3 : Zonage réglementaire du PPRI de Nanterre 10

Figure 2-4 : Tronçon élémentaire de vallée..... 12

Figure 2-5 : Reprise des profils du modèle à partir de la bathymétrie récente 13

Figure 2-6 : Statistiques des débits de crues de la Seine entre Paris et la confluence Oise 15

Figure 2-7 : Hydrogramme des crues de 1910, 1955 et 1982 au pont d'Austerlitz et à Bezons 16

Figure 3-1 : Profil en long pour la crue de janvier 1910 19

Figure 3-2 : Profil en long pour la crue de janvier 1955 20

Figure 3-3 : Profil en long pour la crue de janvier 1982 21

Figure 4-1 : Profil en travers au droit du projet pour le bras de Marly 23

Figure 4-2 : Profil en travers au droit du projet pour le bras de la rivière neuve..... 23

Figure 4-3 : Abaque reliant J et ΔK 25

Figure 5-1 : Présentation du projet..... 27

Figure 5-2 : Vue en coupe de la pile P15 : bras de Marly (bras gauche) 28

Figure 5-3 : Vue en coupe de la pile P23 : bras de la Rivière Neuve (bras droit) 29

Figure 5-4 : Projet – Bras de Marly..... 30

Figure 5-5 : Projet – Bras de la rivière neuve..... 31

Figure 5-6 : Abaque reliant le rapport L_d / l et η 32

Figure 5-7 : Modélisation du lit de la Seine au droit du pont de Bezons pour la crue de janvier 1910 36

Figure 5-8 : Champ de vitesse au droit du projet et position des piles 37

Figure 6-1 : Solutions 1/3 pour le bras de Marly (rive gauche) 42

Figure 6-2 : Solution 2 pour le bras de Marly (rive gauche) 43

Figure 6-3 : Solution 1/3 pour le bras de la Rivière Neuve (rive droite) 44

Figure 6-4 : Solution 2 pour le bras de la Rivière Neuve (bras droit)..... 45

Figure 6-5 : Profil en long en fonction de la perte de charge au droit du pont – Bras droit – j10 49

Figure 6-6 : Profil en long en fonction de la perte de charge au droit du pont – Bras gauche –j10 50

Figure 6-7 : Profil en long en fonction de la perte de charge au droit du pont – Bras droit – j82 50

Figure 6-8 : Profil en long en fonction de la perte de charge au droit du pont – Bras gauche –j82 51

1 CONTEXTE ET OBJECTIF

Dans le cadre du prolongement du RER E à l'ouest, de nombreux travaux sont prévus entre les gares de Saint-Lazare et de Mantes.

La zone de raccordement de Bezons impose la création d'un ouvrage de franchissement de la Seine en amont de l'ouvrage existant.

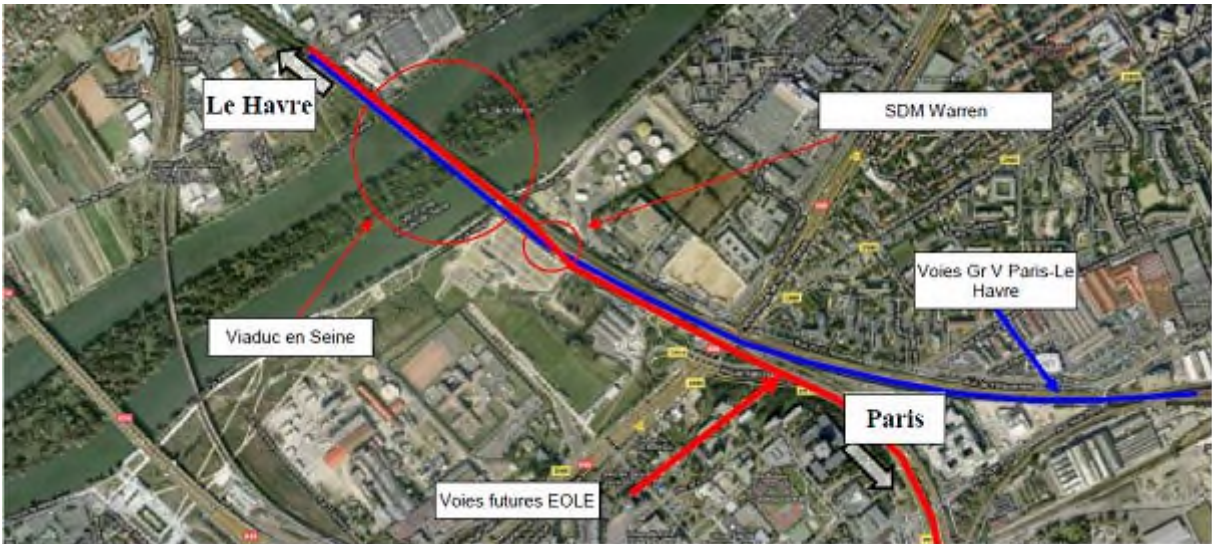


Figure 1-1 : Contexte du projet

Au droit du franchissement, la Seine est constituée de deux bras. Le Bras de la rivière neuve, en rive droite, est large d'environ 130 mètres au droit du projet. Son niveau d'eau est contrôlé à l'aval par l'écluse de Chatou. Le Bras de Marly, en rive gauche est large d'environ 110 mètres au droit du projet, et son niveau d'eau est contrôlé à l'aval par l'écluse de Bougival.

Ces deux bras entourent l'île fleurie (ou île Saint-Martin), large de 90 mètres au droit du projet.

Le nouvel ouvrage de franchissement, créé en parallèle de l'ouvrage existant, est soutenu par 6 piles (3 sur le Bras de Marly et 3 sur le Bras de la rivière neuve) implantées dans le lit mineur de la Seine sur fûts et fondations (semelle et pieux), situées juste en amont des piles existantes. Des gabions sont présents au pourtour des appuis. Au niveau de l'île fleurie, 2 piles situées hors d'eau en période d'étiages supportent l'ouvrage. Au niveau de la berge, côté Paris, le tablier s'appuie sur une pile d'extrémité, 2 piles intermédiaires et une culée, implantées dans la zone actuelle de remblai de l'ouvrage existant. Côté le Havre, une culée est créée et la zone de remblai est élargie.

La présente étude d'impact hydraulique du projet a pour objectifs :

- d'établir précisément l'élévation de la ligne d'eau à l'amont provoqué par le pont de Bezons dans sa configuration actuelle.
- de déterminer l'impact du projet de franchissement sur l'élévation de la ligne d'eau, pendant la phase travaux et à l'état final

2 DONNEES GENERALES

Il s'agit de calculer la ligne d'eau de la Seine au droit du pont de Bezons pour différentes niveaux de crue dont celle de janvier 1910 (qui constitue les niveaux d'eau de référence dans le cadre de l'élaboration du PPRI) et dans l'état actuel des lieux.

L'état de référence est considéré comme celui prévalant actuellement (janvier 2014), correspondant donc au pont de Bezons avant travaux du prolongement du RER E.

2.1 COLLECTE DES DONNÉES

Les documents recueillies décrivent la bathymétrie du lit mineur et la topographie des berges de façon à décrire l'état de référence qui servira de base pour la modélisation hydraulique numérique de la zone d'étude et pour définir l'impact hydraulique du projet ; ces données sont les suivantes :

- Les données de bathymétrie relevées récemment par VNF (arrondissement de Bougival) pour le bras de Marly et le bras de la rivière neuve, sur un linéaire de 500 m à l'amont du pont et 500 m à l'aval.
- Les levés topographiques réalisés par la SNCF dans le cadre du projet EOLE, couvrant les berges rive droite et rive gauche ainsi que l'île de fleurie.
- Les profils en travers de la Seine (planches au 1/2000^{ème} datant de 1975 à 1985, couvrant les bords de Seine dont la zone de Bezons étudiée ici).

L'hydrologie des crues caractéristiques de la Seine au niveau de Bezons, à savoir les niveaux d'eau historiques et les débits transitant en Seine pour la crue de référence de 1910, est issue des données réunies par Hydratec dans le cadre de l'étude d'évaluation des dommages économiques en Région Île-de-France réalisée en 1996-1998 pour le compte de l'IIBRBS (sources diverses : SNS, DIREN, DDE).

2.2 CARACTÉRISTIQUES DU SITE

Le périmètre d'étude se caractérise par la séparation de la Seine en deux bras, le Bras de la rivière neuve, en rive droite, et le Bras de Marly en rive gauche.

Le plan de situation ci-après présente la Seine au droit du projet.

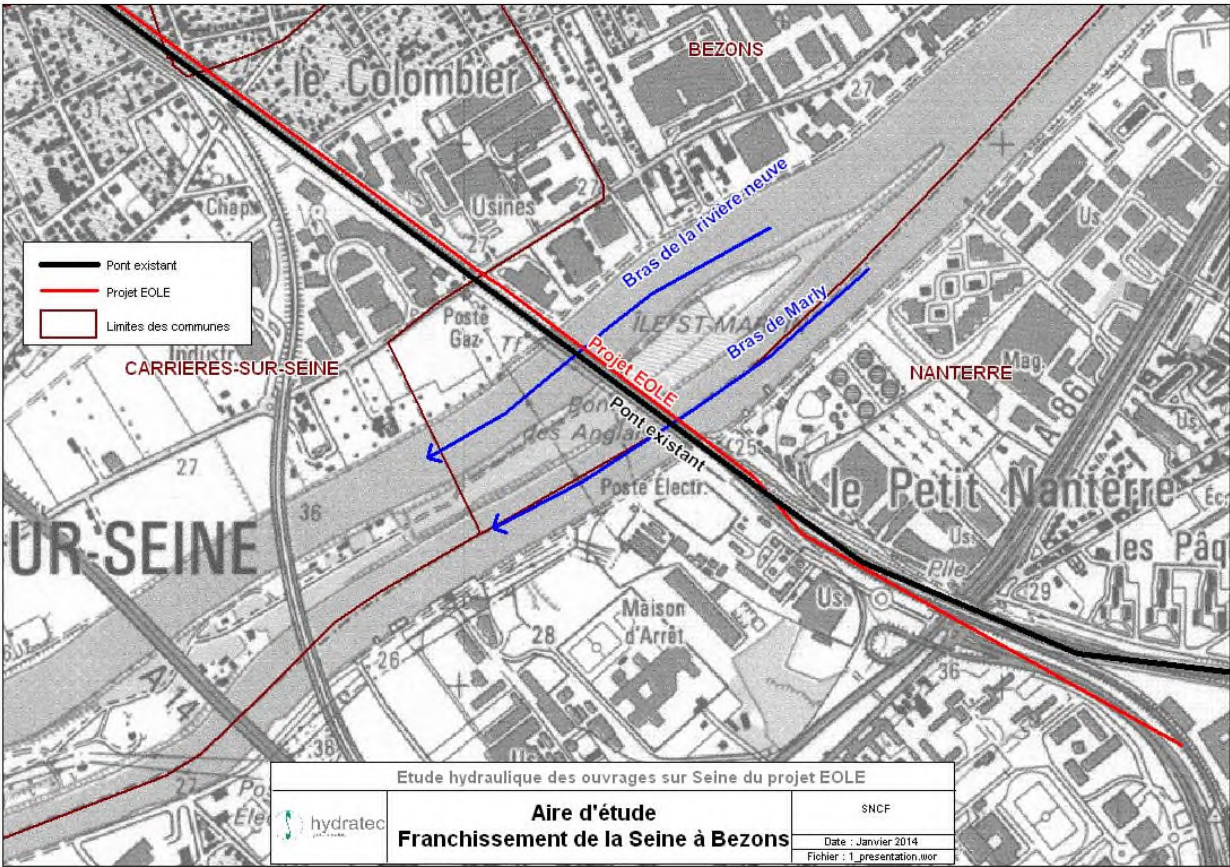


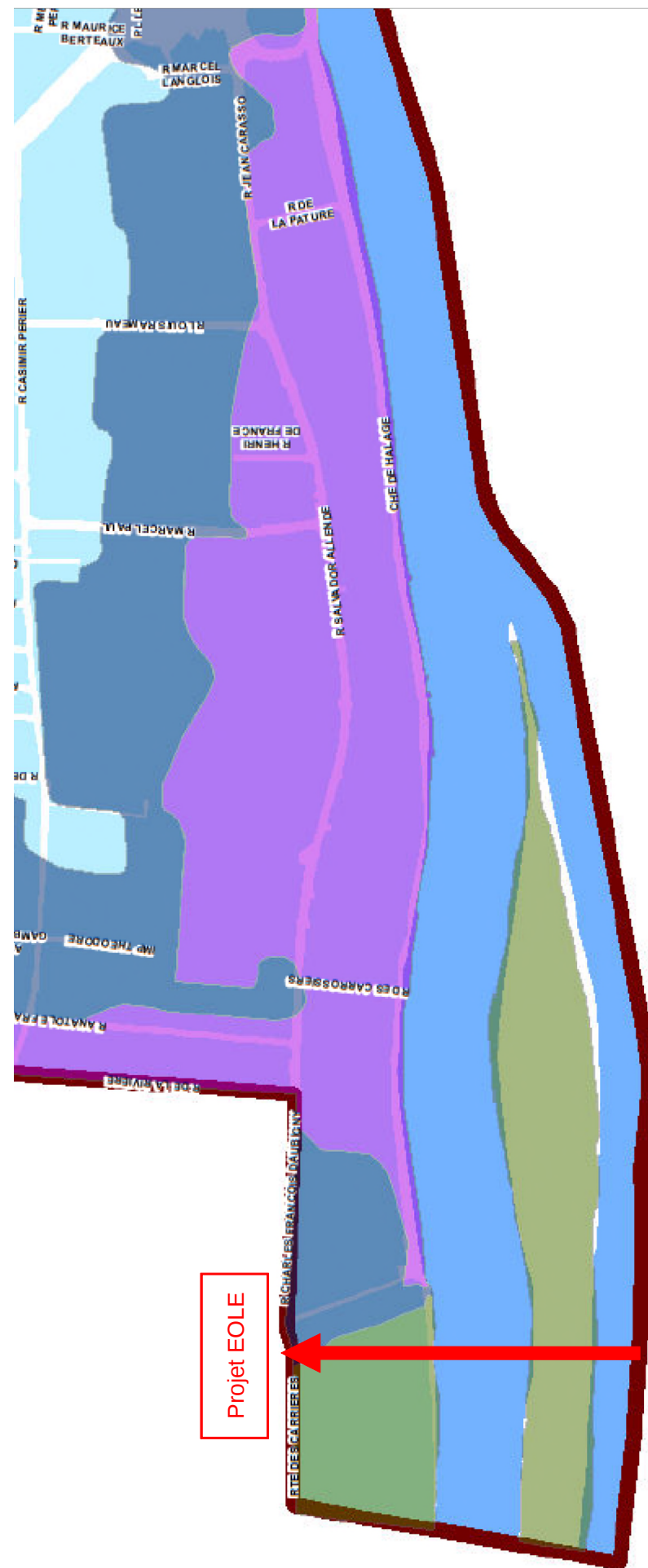
Figure 2-1 : Plan de situation au droit du franchissement de la Seine

En rive droite, la ville de Bezons borde la Seine au droit du projet, suivie de la ville de Carrières-sur-Seine 300m à l'aval. Le zonage réglementaire du PPRI de la communauté d'agglomération d'Argenteuil Bezons montre que la rive droite est inondable. Au niveau du franchissement, c'est une zone peu urbanisée, appartenant au champ naturel d'inondation. En amont, la zone est en revanche urbanisée et exposée au risque inondation.

L'île fleurie est située sur le territoire de la commune de Bezons au droit du projet. Le PPRI de la ville de Bezons indique qu'elle appartient au champ d'inondation pour la crue de référence, mais qu'elle n'est peu ou pas urbanisée

En rive gauche, le projet traverse la ville de Nanterre. Le PPRI montre que la rive gauche est inondée en amont et au droit du projet sur une largeur de 100 à 200 mètres et correspond majoritairement à une zone urbaine dense.

Les zonages réglementaires des PPRI de Bezons et de Nanterre sont présentés ci-après.



ZONE VERTE: zone peu ou pas urbanisée, visant la conservation des champs naturels d'expansion des crues
 ZONE BLEU: zone en site urbain, exposée à des risques moindres en termes de fréquence et de hauteur d'eau
 ZONE VIOLETTE: zone en site urbain très exposée du fait de la fréquence des inondations, des hauteurs d'eau constatées et de la vitesse d'écoulement

Communauté d'Agglomération d'Argenteuil Bezons: Zones inondables

Figure 2-2 : Zonage réglementaire du PPRI de Bezons

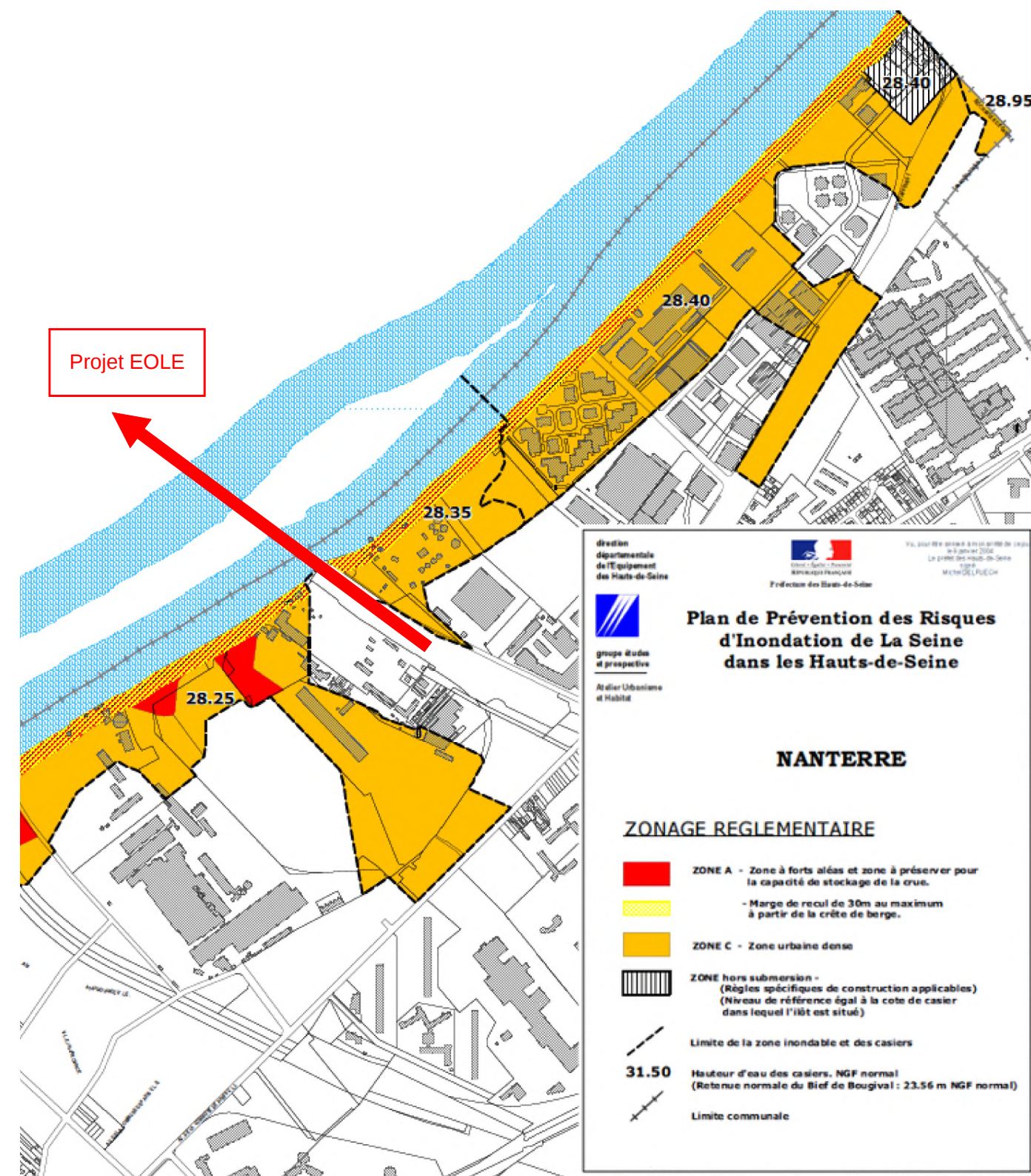


Figure 2-3 : Zonage réglementaire du PPRI de Nanterre

2.3 CONSTRUCTION DU MODÈLE DE SIMULATION NUMÉRIQUE

Le modèle numérique des écoulements de crue de la Seine en aval de Paris a été réalisé par HYDRATEC dans le cadre de l'étude d'évaluation des dommages économiques en Région Île-de-France pour différentes occurrences de crue forte ou très forte réalisée en 1996-1998 pour le compte de l'IIBRBS.

Le modèle global couvre la Seine depuis l'amont de Paris jusqu'à l'aval des Yvelines.

L'adaptation faite de ce modèle pour l'étude d'impact hydraulique du franchissement de la Seine à Bezons pour le projet EOLE a consisté à détailler à l'échelle du projet ce schéma numérique de l'amont de l'île fleurie, jusqu'au barrage de Chatou en aval, de façon à disposer d'un outil de calcul de référence permettant d'évaluer les conditions d'écoulement pour différentes configurations d'aménagements.

Dans le secteur d'étude, la description des profils en travers a été affinée à partir des documents et données listés plus haut.

Le profil en travers (Figure 2-5) montre l'exemple du profil en travers du bras de Marly, 500 mètres en amont du projet, dont la bathymétrie fournie par VNF a permis d'affiner la définition du lit mineur.

Les lits majeurs ont été ajustés à partir des levés réalisés par la SNCF.

Le logiciel de modélisation utilisé est le logiciel HydraRiv, décrivant les écoulements en résolvant les équations de Barré de St-Venant. La description du modèle Hydrariv est présentée en annexe.

Dans le cadre du projet, cette modélisation sert à simuler en régime transitoire l'écoulement de la crue de janvier 1910 reconstituée en débit à Paris-Austerlitz et propagée à Bezons par le calcul, ainsi que les crues de janvier 1955 et janvier 1982.

Les niveaux d'eau maximum en Seine sont reconstitués numériquement avec une tolérance moyenne de ± 10 cm en tous points du fleuve où des relevés historiques sont disponibles, et notamment aux alentours de Bezons et de Nanterre.

Le modèle de simulation des crues est réalisé en 1D, c'est-à-dire que les profils en travers de la Seine, incluant le lit mineur ainsi que le lit majeur sont utilisés pour décrire les écoulements.

Cette représentation permet de restituer de manière précise le profil en long de la Seine pour les différentes crues historiques. On en déduit les niveaux d'eau maximum qui en découlent, ainsi que les vitesses d'écoulement.

Le modèle filaire définit, pour le secteur de Bezons, les écoulements depuis le pont VF d'Argenteuil jusqu'au barrage de Chatou en s'appuyant sur les repères suivants.

Point Kilométrique du modèle	Repère
691.9	Pont VF d'Argenteuil
693.5	Colombe Le haut des voies des tertres
697.1	Bezons le Pavillon
699.5	Nanterre Le moulin noir
700.7	Chatou
700.95	Barrage de Chatou amont
701.37	Barrage de Chatou aval

Tableau 2-1 : Repères dans le secteur de Bezons

En général, le module de calcul de base s'applique à un tronçon élémentaire de vallée avec 7 zones d'écoulements contrastés dans la direction transversale (voir figure ci-dessous) :

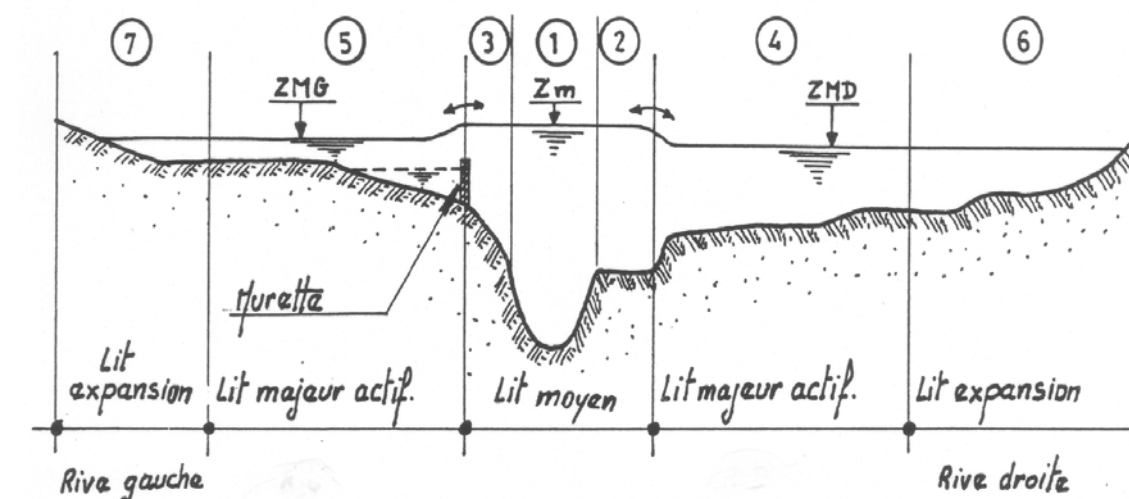


Figure 2-4 : Tronçon élémentaire de vallée

- le lit moyen où coule l'eau en l'absence de débordement et auquel sont appliquées les équations de Barré-de-St Venant,
- le lit majeur actif, c'est-à-dire la fraction de la plaine inondable qui participe à l'écoulement longitudinal en vallée après débordement, en distinguant la rive gauche et la rive droite,
- le lit d'expansion qui simule les poches de stockage et d'accumulation dans le lit majeur.

Le code de calcul est le code Hydra décrivant les écoulements en résolvant les équations de Barré de St-Venant.

La topographie du champ d'inondation, les obstacles aux écoulements (remblais, perte de charge singulière due aux ponts et barrages) et les protections linéaires (murettes et digues anti-crue) sont intégrés à la modélisation dans leurs caractéristiques physiques actuelles ; leurs descriptions sont basées sur les cartographies existantes et les vérifications des points singuliers sur site.

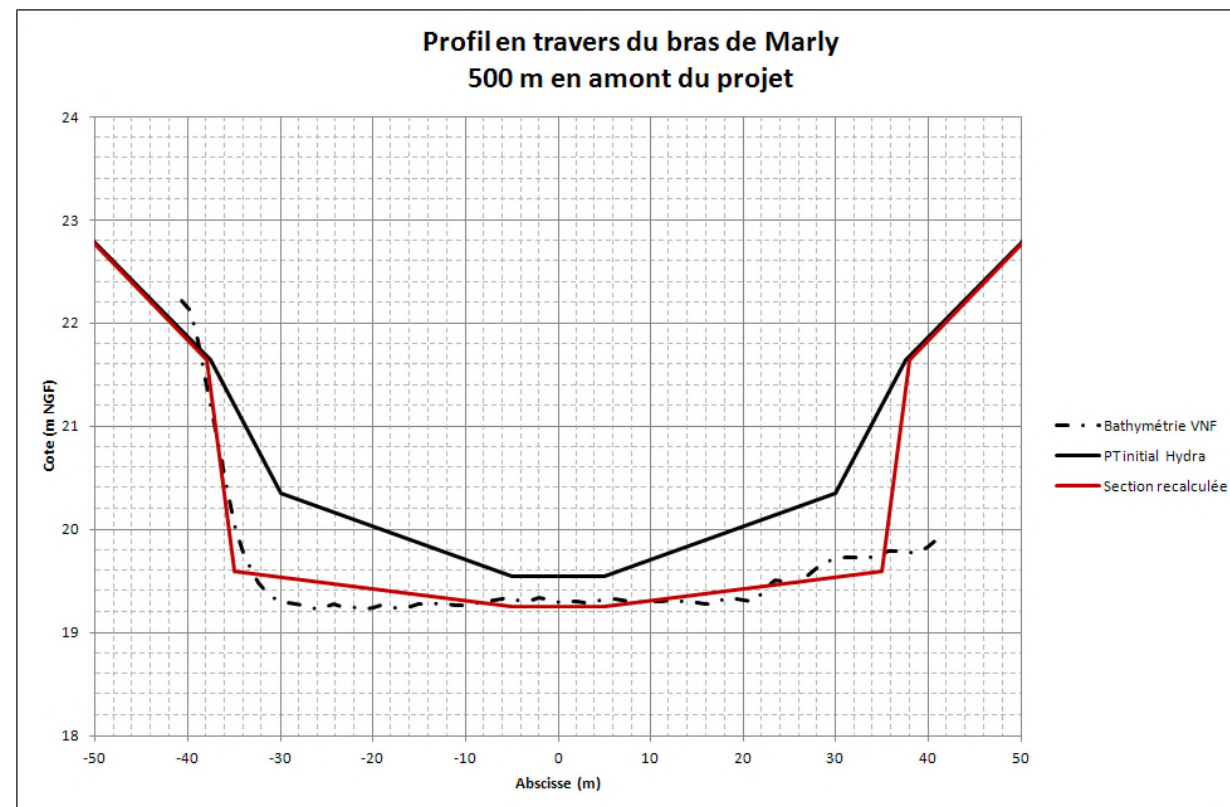


Figure 2-5 : Reprise des profils du modèle à partir de la bathymétrie récente

La modélisation 1D du lit de la Seine sera ensuite complétée par une modélisation en deux dimensions, toujours réalisée par l'intermédiaire du logiciel Hydrariv. Ce modèle 2D, représentant les deux bras de la Seine au droit du projet, sur un linéaire de plusieurs centaines de mètres, permettra de déterminer les vitesses au droit du pont de Bezons en différents points du profil en travers (là où le modèle 1D ne peut fournir qu'une vitesse moyenne). Les débits et hydrogrammes injectés en amont de ce modèle sont ceux issus du modèle 1D.

2.4 HYDROLOGIE DES CRUES DE LA SEINE

2.4.1 Période de retour des crues

Les statistiques relatives aux débits de crue de la Seine présentées ci-après ont été établies à l'échelle du pont d'Austerlitz à Paris pour la période couvrant les années 1873 à 1996, dans le cadre de l'étude d' « Evaluation des dommages liés aux crues de la Seine en Région Ile-de-France » (Hydratec pour IIBRBS – 1998).

Ces statistiques s'appliquent également à Bezons, situé en amont de la confluence de la Seine avec l'Oise.

Tous ces résultats sont donnés sur la figure page suivante, qui présente l'ajustement des débits de crue reconstitués entre 1873 et 1996 à la station du pont d'Austerlitz, à l'aide d'une loi de Gumbel.

La crue de janvier 1910, qui est la crue de référence sur la Seine, dans la mémoire contemporaine des hommes et pour l'application des règlements type PPRI, apparaît comme une crue de période de retour environ centennale.

Conformément à la directive n°2007/60/CE relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation datant d'octobre 2013 et réalisée par la DRIEE, le débit maximal au pont d'Austerlitz pour la crue de 1910 est fixé à 2560 m³/s.

Pour un intervalle de confiance de 95%, le débit centenal au pont d'Austerlitz est compris entre 2310 m³/s et 2910 m³/s.

La crue de janvier 1955, à 2120 m³/s aurait une période de retour de l'ordre de 30 ans.

La crue de janvier 1982 à 1800 m³/s est une crue de période de retour 15 ans.

STATION : PARIS
nombre d'années: 123
à partir de : 1873

PERIODE DE RETOUR(ans)	DEBITS (m3/s)	IC à 70%	IC à 95%
2	1006	(980 - 1046)	(945 - 1090)
5	1400	(1351 - 1462)	(1303 - 1557)
10	1661	(1586 - 1758)	(1501 - 1880)
20	1911	(0 - 0)	(0 - 0)
50	2234	(0 - 0)	(0 - 0)
100	2477	(2335 - 2663)	(2188 - 2852)
200	2718	(0 - 0)	(0 - 0)

années particulières (T selon Gumbel)

DATE	DEBITS (m3/s)	T (années)
1889	1548	7
1968	1580	8
1988	1600**	8
1911	1605	8
1873	1612	8
1941	1630	9
1919	1647	9
1926	1654	9
dec 1982	1680	10
1931	1685	10
1883	1686	9/ 11 /15
1970	1700**	11
1959	1700	11
1978	1700**	10
janv-82	1800**	11/ 14 /19
1876	1808	15
1920	1810	15
1945	1990	18/ 25 /36
1924	2100	34
1955	2120	36
1910	2400	53/ 80 /127

** débit naturel reconstitué

Nota : IC = Intervalle de confiance

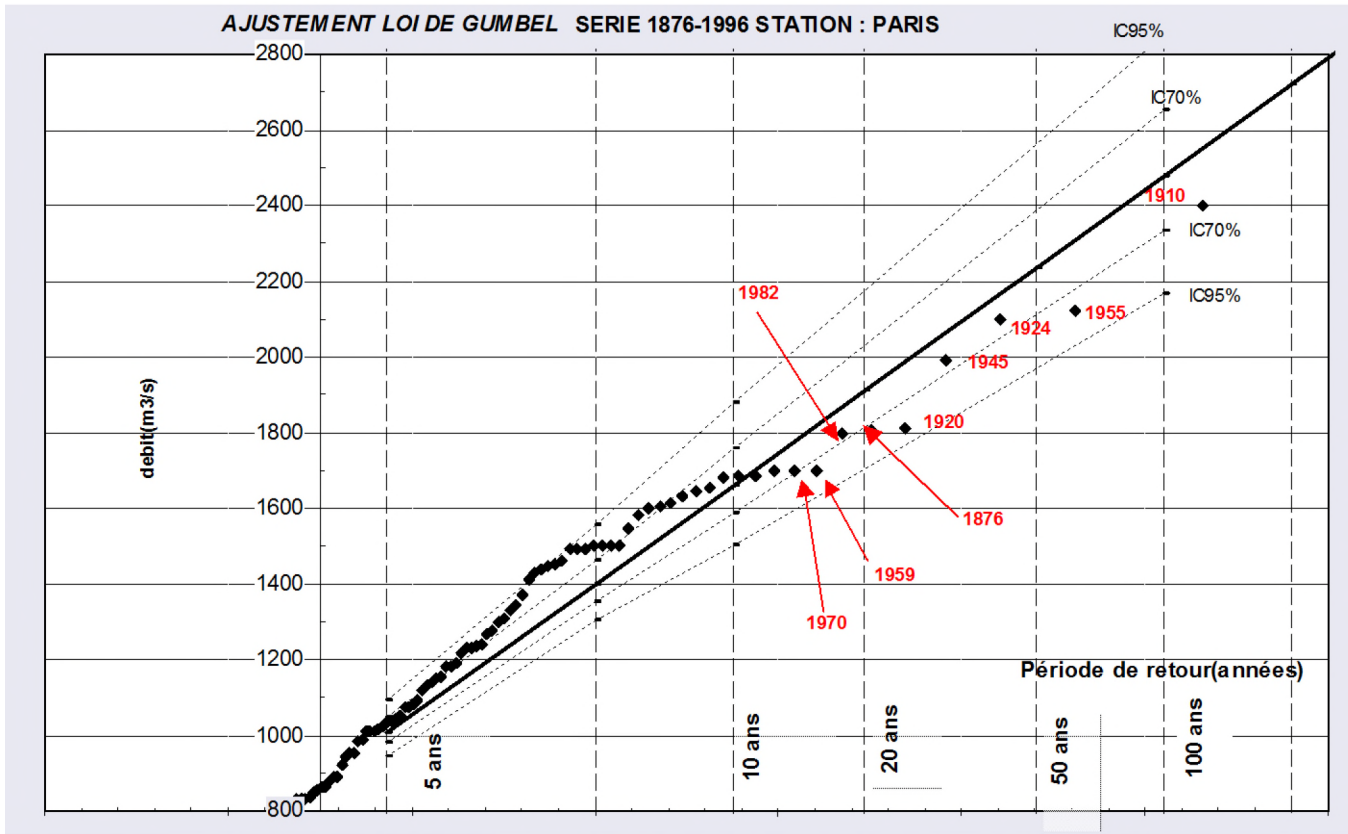


Figure 2-6 :
Statistiques des
débits de crues
de la Seine entre
Paris et la
confluence Oise

2.4.2 Remarque sur l'évolution des lignes d'eau, suite aux modifications de l'hydraulicité du lit de la Seine depuis le début du siècle

Pour un même débit hydrologique, les niveaux d'eau maximum atteints en Seine ont pu évoluer sur certains secteurs, suite à différents travaux d'amélioration de l'hydraulicité générale du fleuve : chenalisation du lit pour les besoins de la navigation, reconstruction ou modernisation d'anciens barrages de la navigation, élimination de « points noirs », ponts ou seuils.

En aval de Paris dans les Hauts-de-Seine, la reconstruction et la modernisation des barrages de Suresnes et Chatou (1933) et les travaux systématiques de dragage des bras pour les besoins de la navigation sont autant de paramètres qui ont ainsi participé à l'amélioration de l'hydraulicité de la Seine : par exemple, sur le tronçon Suresnes-Chatou et pour une crue type 1910, le gain estimé lié à l'amélioration des conditions hydrauliques générales, est de l'ordre de 15 à 20 cm.

Les hydrogrammes des crues de janvier 1910, 1955 et 1982 à Paris et à Bezons sont présentés ci-dessous.

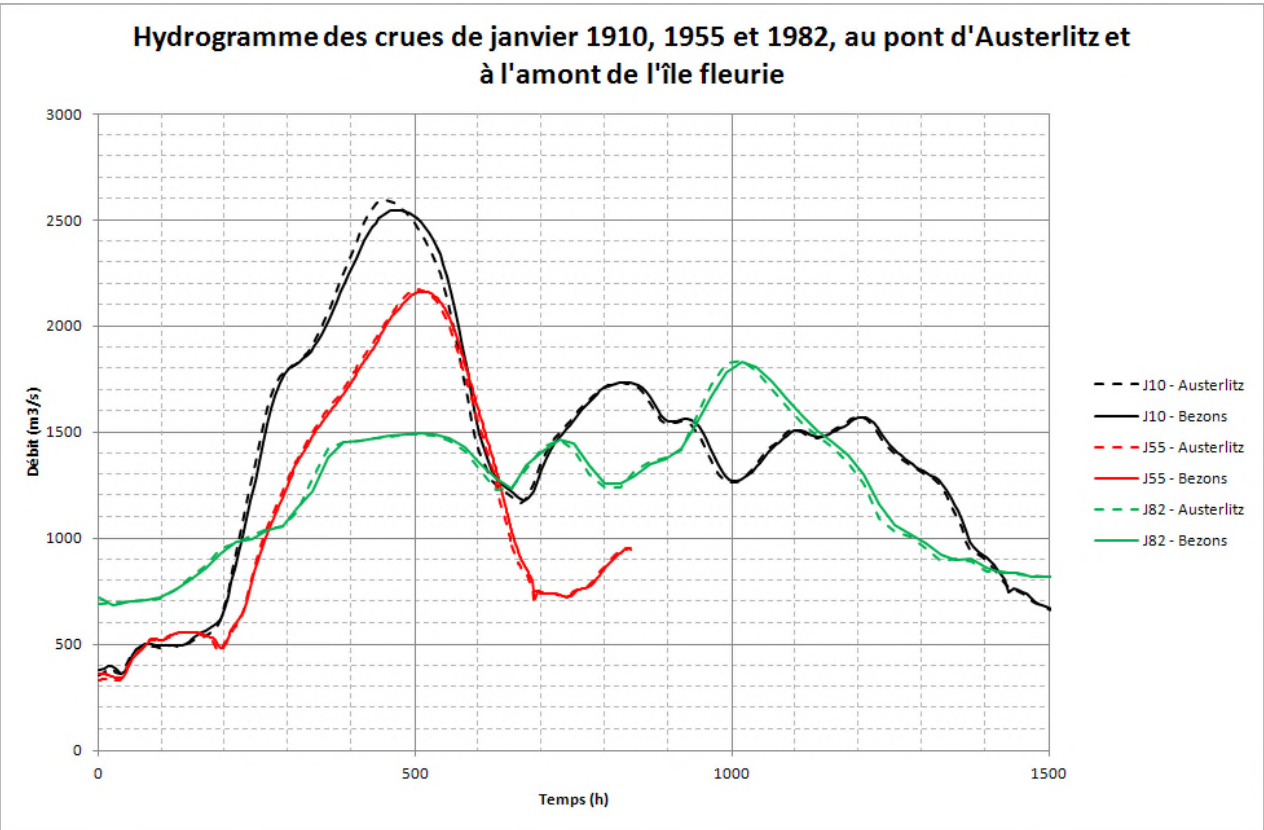


Figure 2-7 : Hydrogramme des crues de 1910, 1955 et 1982 au pont d'Austerlitz et à Bezons

3 CALAGE DU MODÈLE

Avant d'utiliser le modèle pour étudier le passage des crues dans différentes configurations d'aménagement, il convient de procéder à son calage pour qu'il soit représentatif de la réalité observée.

Le calage du modèle consiste à faire varier les coefficients de rugosité caractérisant les berges et le fond de la Seine autour des valeurs classiques représentatives de ce type de rivière jusqu'à retrouver, par le calcul, les cotes observées pour les crues, dites "crues de calage".

Les incertitudes sur la connaissance topographique de la rivière, sur le moment de la lecture, sur la lecture des échelles de crue et sur la connaissance des débits de crue écoulés font que le calage n'est jamais parfait. Il génère une erreur de quelques centimètres entre cote observée et cote calculée.

Cependant, la comparaison entre un scénario de type "état actuel" et un scénario de type "état projeté" qui intègre chacun cette erreur relative, permet de déterminer précisément l'impact de l'aménagement.

Le calage donc consiste à retrouver par le calcul :

- les niveaux d'eau observés pendant la crue historique de 1910, dont l'hydrogramme est présenté Figure 2-7 ; le débit maximum au niveau de Bezons est estimé à 2545 m3/s,
- les niveaux d'eau observés pendant la crue de janvier 1955, dont l'hydrogramme est présenté Figure 2-7 ; le débit maximum au niveau de Bezons est estimé à 2160 m3/s,
- les niveaux d'eau observés pendant la crue de janvier 1982, dont l'hydrogramme est présenté Figure 2-7 ; le débit maximum au niveau de Bezons est estimé à 1830 m3/s.

La configuration de référence est entendue comme la situation topographique et morphologique prévalant sur le site avant la réalisation du projet à venir.

A l'issue des calages, les paramètres de rugosité retenus au droit du projet sont les suivants :

- Coefficient de rugosité (Strickler) dans le lit mineur : K = 12 (pour les deux bras de la Seine)
- Coefficient de rugosité (Strickler) dans le lit majeur : K = 38 pour le bras droit et K = 40 pour le bras gauche

Les résultats du calage sont présentés ci-dessous pour ces trois crues, avec des écarts entre cotes calculées et cotes observées inférieurs à 10 centimètres d'Argenteuil jusqu'à Chatou pour les crues de 1955 et 1982, et inférieurs à 15 centimètres pour la crue de janvier 1910.

Les profils en long pour les trois crues sont présentés à la suite.

Pour les trois crues, la moyenne des écarts est de 0,01 m et l'écart type de 0,08m.

L'écart type de 0,08 m indique un calage suffisant pour les raisons suivantes :

- Le modèle est utilisé de manière relative pour calculer des impacts en comparant l'état actuel et l'état futur
- Le modèle est calé en moyenne sur trois crues s'étant déroulées à des époques différentes. Les résultats sont moins précis que si le modèle avait été calé uniquement sur une crue, mais offre une meilleure réponse aux variations de débits.

Le modèle est déclaré calé pour réaliser l'étude d'impact du projet EOLE à Bezons.

L'incertitude maximale en termes de ligne d'eau pour la crue extrême de 1910 est de l'ordre de 10cm, et 5 cm pour les crues moins importantes (type 1982 et 1955).

LIEUX	PK NAVIG VNF	RN	PHEN	SCENARIO DE REFERENCE CRUE DE 1910			SCENARIO DE REFERENCE CRUE DE 1955			SCENARIO DE REFERENCE CRUE DE 1982		
				COTE OBSERVE (m)	COTE CALCULEE (m)	Ecart de cote (m)	COTE OBSERVE (m)	COTE CALCULEE (m)	Ecart de cote (m)	COTE OBSERVE (m)	COTE CALCULEE (m)	Ecart de cote (m)
PONT VF D'ARGENTEUIL	35.422	23.56	26.38				27.89	27.91	0.02	27.04	27.13	0.09
COLOMBE le haut des voies des tertres	35.422	23.56	26.38	28.74	28.59	-0.15	27.72	27.70	-0.02			
BEZONS LE PAVILLON		23.56	25.94	28.29	28.24	-0.05	27.44	27.35	-0.09			
NANTERRE le moulin noir	35.422	23.56	26.38	27.94	28.06	0.12	27.18	27.16	-0.02			
CHATOU	35.422	23.56	26.38	27.74	27.84	0.10	27.03	26.95	-0.08			
BARRAGE DE CHATOU AM	44.600	23.56		27.74	27.80	0.06	27.00	26.92	-0.08			
BARRAGE DE CHATOU AV	44.600	20.31								26.06	26.10	0.04

Tableau 3-1 : Résultats du calage pour les crues de janvier 1910, janvier 1955 et janvier 1982

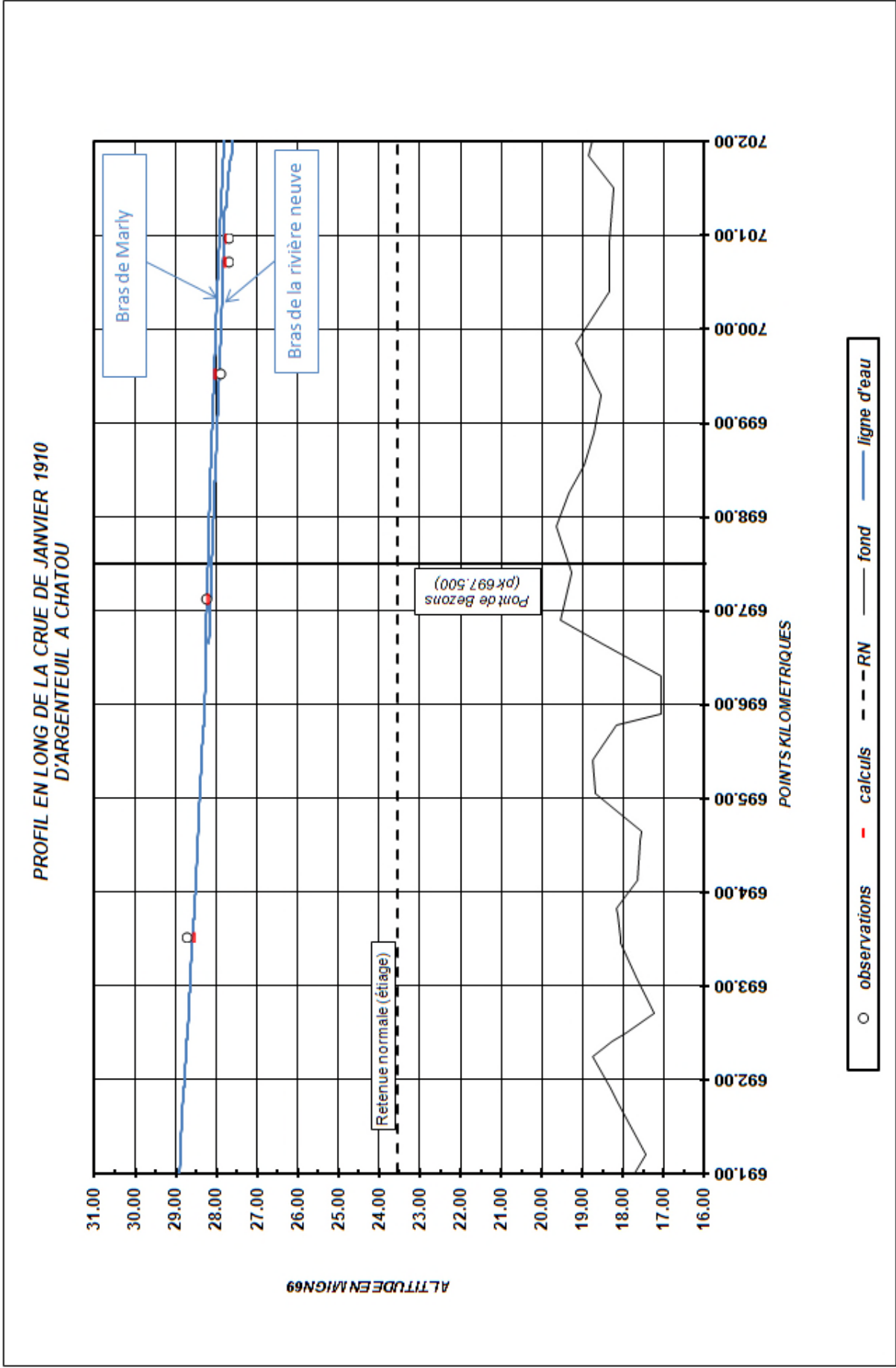


Figure 3-1 : Profil en long pour la crue de janvier 1910

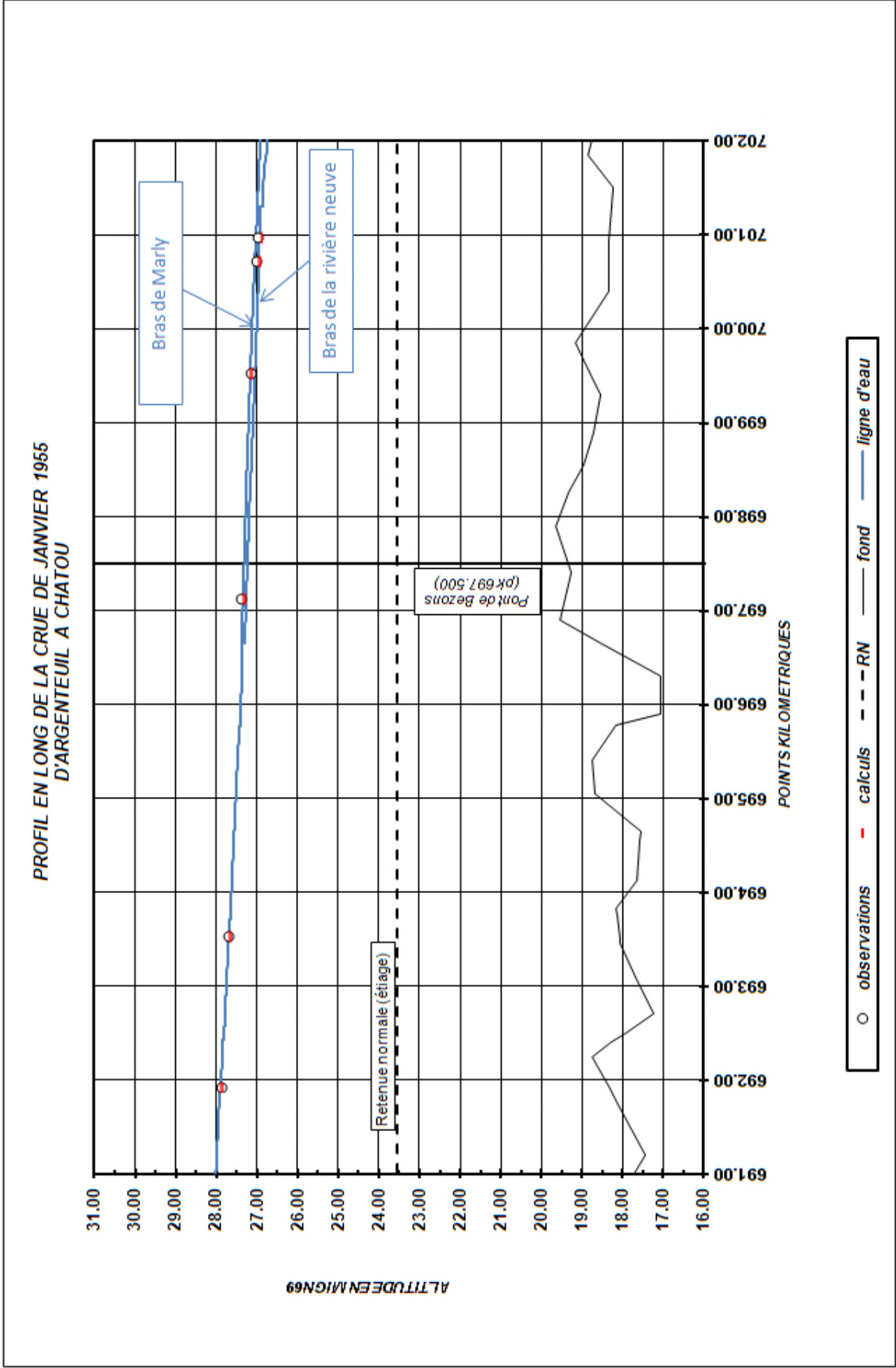


Figure 3-2 : Profil en long pour la crue de janvier 1955

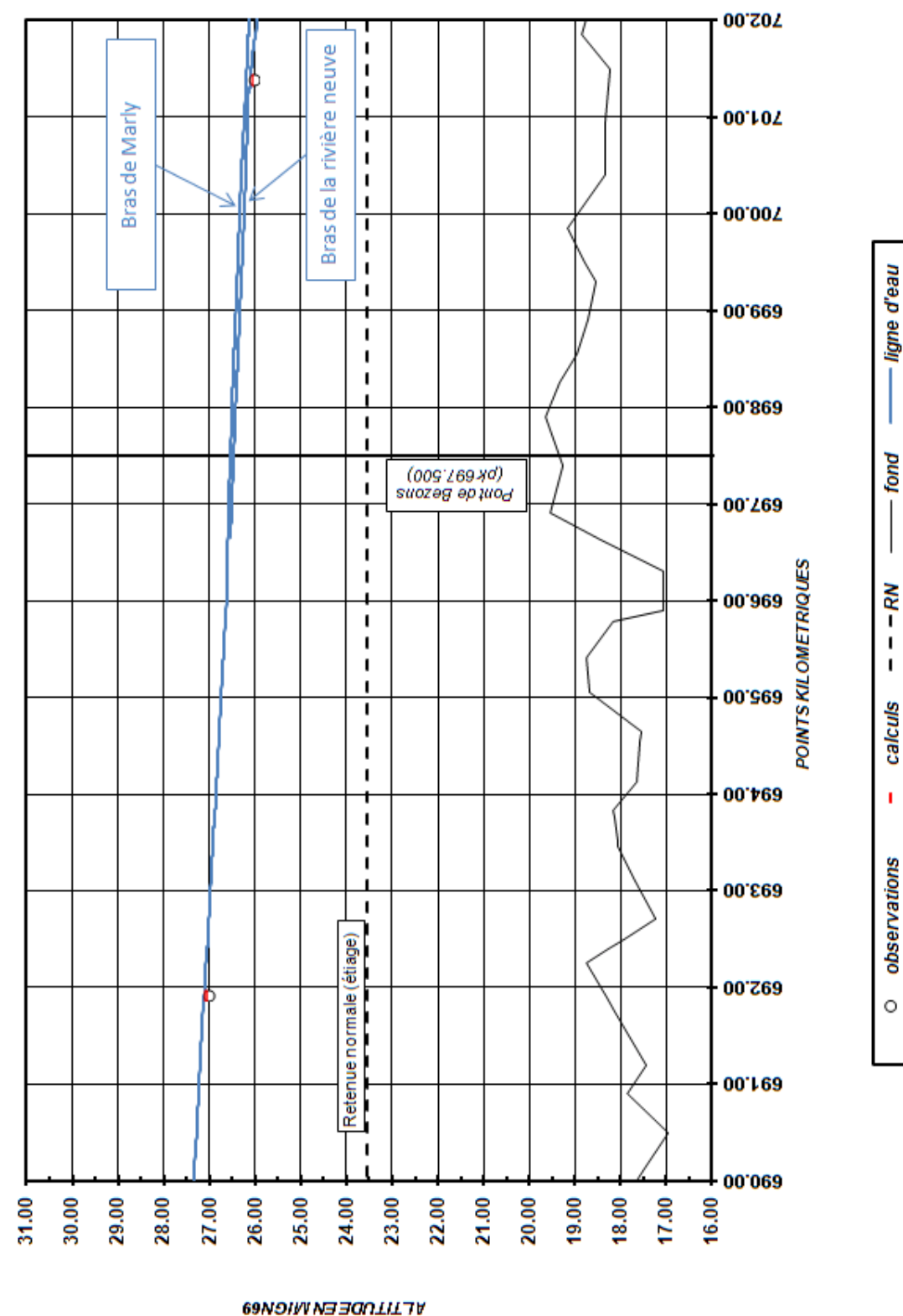


Figure 3-3 : Profil en long pour la crue de janvier 1982

4 ETAT DE RÉFÉRENCE

4.1 ÉTABLISSEMENT DU DÉBIT ET DE LA LIGNE D'EAU AU DROIT DU PROJET

La crue de référence dite centennale utilisée pour le calcul de l'impact est la crue de janvier 1910. Le modèle permet de déterminer la répartition du débit entre le bras de Marly et le bras de la rivière neuve, ainsi que la cote d'eau au droit du projet pour les deux bras.

Les valeurs retenues sont les suivantes :

Bras de Marly (bras gauche) :

- Cote d'eau au droit du projet : 28.22 m NGF
- Débit au droit du projet : 860 m³/s.

Bras de la rivière neuve (bras droit) :

- Cote d'eau au droit du projet : 28.10 m NGF
- Débit au droit du projet : 1690 m³/s.

4.2 PRÉSENTATION DE L'OUVRAGE À L'ÉTAT ACTUEL

Les résultats fournis par la modélisation du lit mineur de la Seine permettent de calculer la perte de charge liée aux piles à l'état actuel (uniquement les piles de la voie ferrée actuelle) à l'aide la méthode de Bradley.

Les caractéristiques de l'ouvrage sont rappelées ci-après.

Profil général de l'ouvrage – Etat actuel :

- 6 piles dans le lit mineur : 3 dans le bras gauche (P15, P16 et P17) et 3 dans le bras droit (P21, P22 et P23).
- Piles constituées d'une semelle jusqu'à la cote Z = 24 m NGF puis d'une béquille plus fine.
- Largeur des semelles variables : P15 = 7,72 m, P16 = 8,2 m, P17 = 7.47m, P21 = 6m, P22 = 7m, P23 = 9m.
- Largeur des béquilles variables : P15, P16 et P17 = 3m, P21 et P22 = 6m et P23 = 4m.

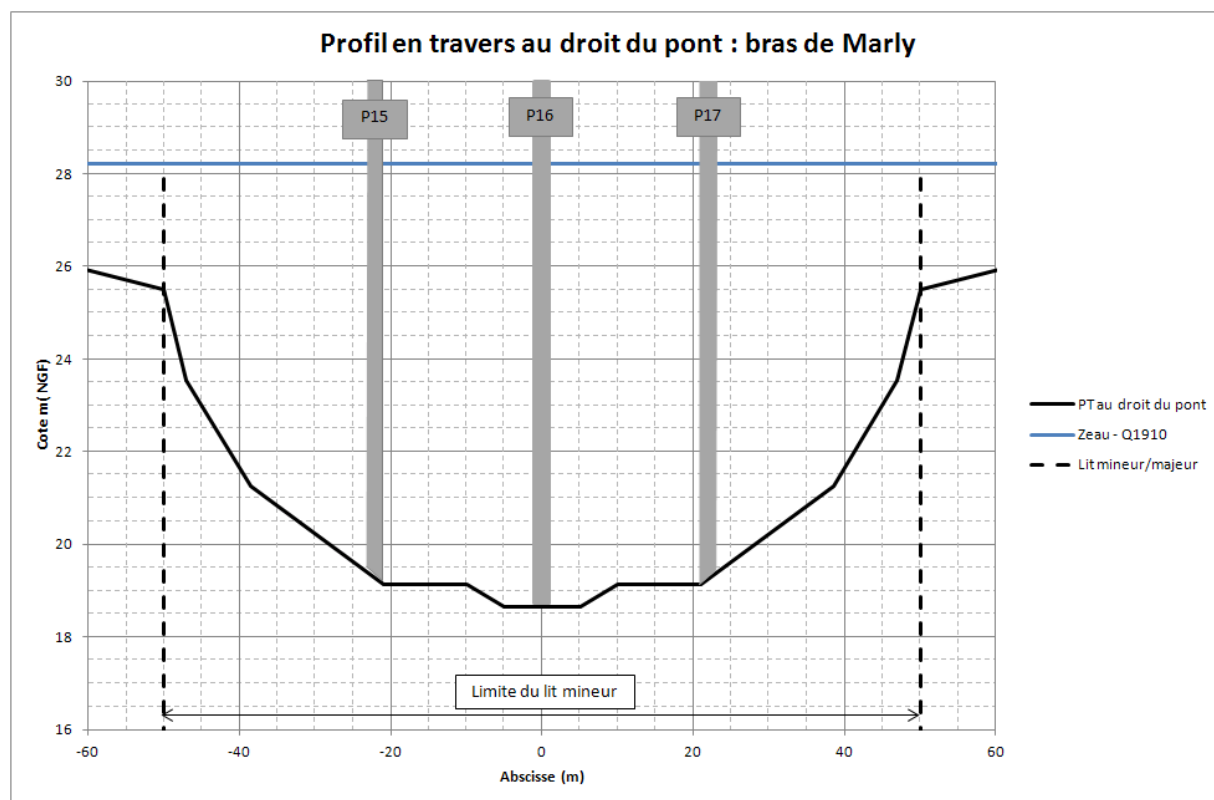


Figure 4-1 : Profil en travers au droit du projet pour le bras de Marly

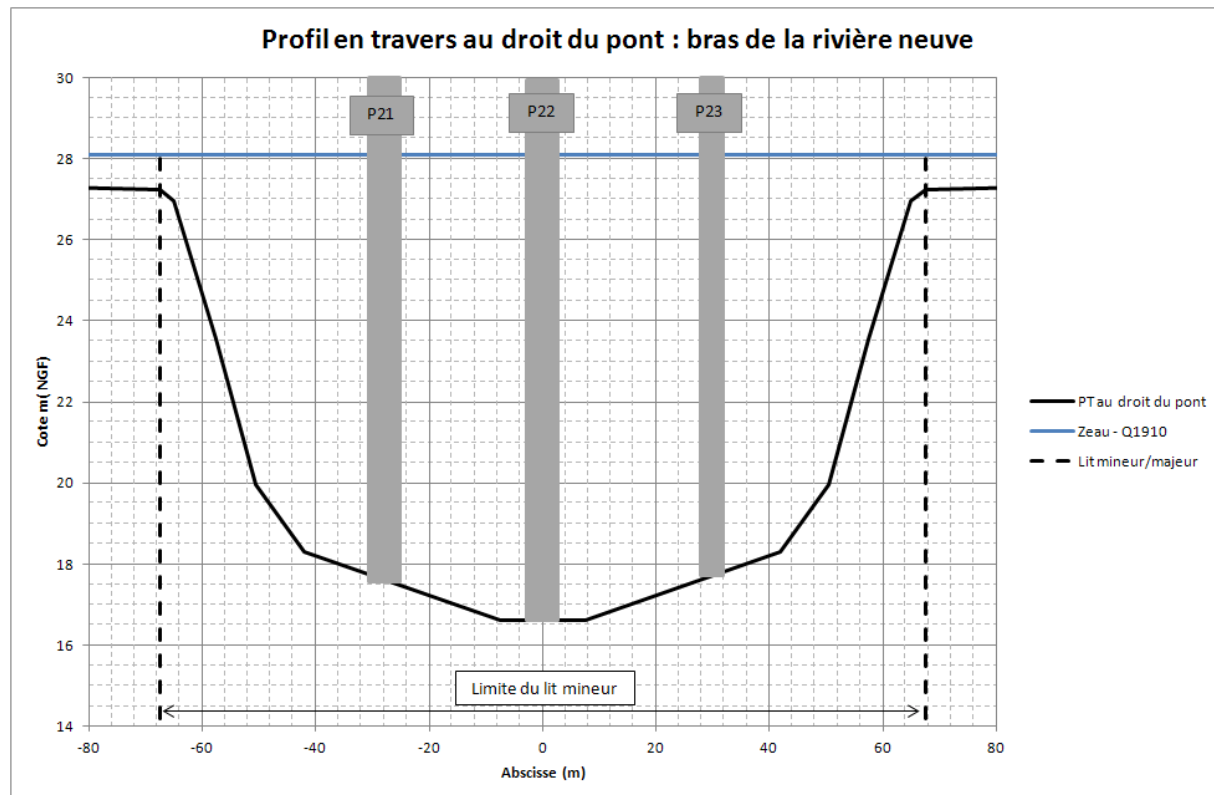


Figure 4-2 : Profil en travers au droit du projet pour le bras de la rivière neuve

4.3 CALCUL DE LA PERTE DE CHARGE A L'ETAT ACTUEL

Le remous occasionné par la mise en place d'un ouvrage dans le lit mineur d'un cours d'eau peut être calculé en utilisant les règles de Bradley de l'US Department of Transportation / Federal Highways Administration dans l'ouvrage *Hydraulics of Bridge Waterways*.

Ces principes de calcul généralement utilisés pour évaluer le remous provoqué par les culées et les piles d'un pont sont aisément applicables pour modéliser toutes sortes de singularités formant obstacles aux écoulements.

Cette méthode est basée sur des résultats issus de modèles et appuyée par des mesures réalisées sur des ponts de taille moyenne, c'est-à-dire dont la longueur varie d'environ 50 mètres à 500 mètres. Le pont de Bezons se situe donc bien dans l'intervalle dans lequel s'applique la méthode de Bradley.

Cette méthode s'appuie sur une vitesse moyenne dans la ligne d'eau. Elle n'est donc pas sensible aux variations des vitesses locales en fonction de la configuration de la section et de la position des piles dans le lit.

L'expression donnant le remous dans le cas d'un pont unique sans culée est :

$$h^* = K_p \alpha_2 \frac{V_n^2}{2g}$$

avec :

- h^* le remous (en m)
- V_n la vitesse de l'écoulement dans la section rétrécie sous le tirant d'eau égal à celui de l'écoulement non perturbé (en m/s)
- α_2 le coefficient d'énergie cinétique au droit du pont, égal à 1 dans notre cas (celui-ci est différent de 1 dans le cas de sections dont la rugosité varie d'une berge à l'autre)
- K_p le coefficient de remous, fonction du type de piles et du ratio J de leurs sections normales à l'écoulement par rapport à la section mouillée sous la hauteur normale dans la section sous le pont

J est défini par :

$$J = \frac{A_p}{A_{n2}}$$

avec A_{n2} la surface mouillée de l'écoulement dans la section du pont sous le tirant d'eau égal à celui de l'écoulement, elle est calculée à partir du profil en travers au droit du projet (en m²)
 A_p la somme des sections des piles normales à l'écoulement (en m²)

Le coefficient K_p est ensuite donné par abaques.

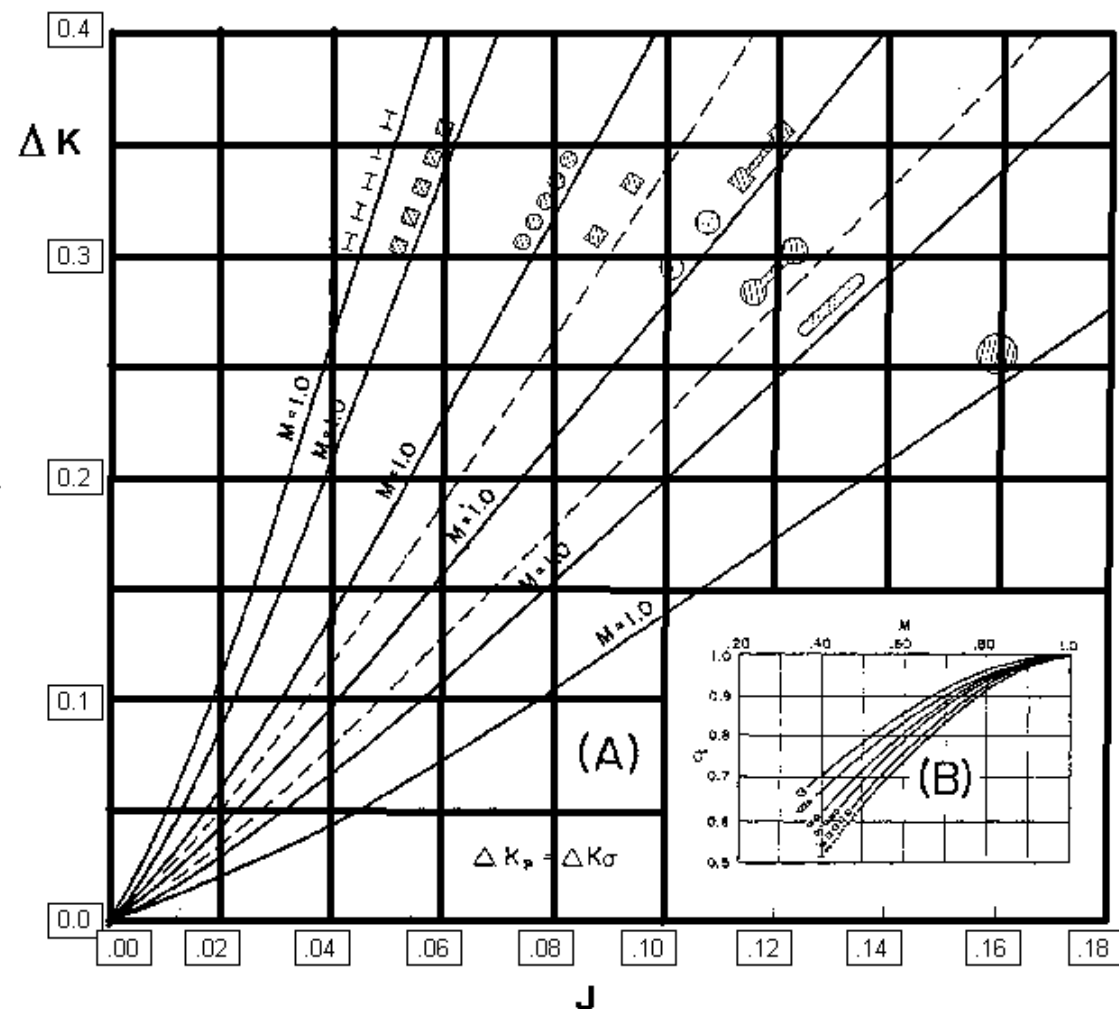


Figure 4-3 : Abaque reliant J et ΔK

4.3.1 Bras de Marly (Rive gauche)

Le tableau ci-après résume les valeurs utilisées pour le calcul des piles du pont de la voie ferrée de Bezons en rive gauche à l'état actuel.

Calcul de la perte de charge par la méthode de Bradley		
Débit crue projet (m ³ /s)	Q	858
Cote d'eau pour la crue de projet (m NGF)	Zeau	28.22
Vitesse moyenne d'écoulement (m/s)	Vn	0.7
Section mouillée sans pont (m ²)	An2	1270
Section obstruée par les béquilles (m ²)	Ap	104
Rapport des deux sections	J	0.08
Coefficient d'énergie cinétique	α_2	1
Coefficient de remous (via abaque)	Kp	0.12
Perte de charge état actuel (m)	h* actuel	0.004

Tableau 4-1 : Calcul du remous à l'état actuel pour la crue de référence – Bras de Marly

D'après la méthode Bradley, la perte de charge liée aux piles du pont de la voie ferrée de Bezons en rive gauche à l'état actuel est de l'ordre de 4 mm pour la crue de projet.

4.3.2 Bras de la rivière neuve (Rive droite)

Le tableau ci-après résume les valeurs utilisées pour le calcul des piles du pont de la voie ferrée de Bezons en rive gauche à l'état actuel.

Calcul de la perte de charge par la méthode de Bradley		
Débit crue projet (m ³ /s)	Q	1687
Cote d'eau pour la crue de projet (m NGF)	Zeau	28.10
Vitesse moyenne d'écoulement (m/s)	Vn	1.5
Section mouillée sans pont (m ²)	An2	1300
Section obstruée par les béquilles (m ²)	Ap	198
Rapport des deux sections	J	0.15
Coefficient d'énergie cinétique	α_2	1
Coefficient de remous (via abaque)	Kp	0.26
Perte de charge état actuel (m)	h* actuel	0.031

Tableau 4-2 : Calcul du remous à l'état actuel pour la crue de référence – Bras de la rivière neuve

D'après la méthode Bradley, la perte de charge liée aux piles du pont de la voie ferrée de Bezons en rive gauche à l'état actuel est de l'ordre de 3,1 cm pour la crue de projet.

4.3.3 Perte de charge à l'état actuel

La perte de charge provoquée par les piles du pont à l'état actuel pour la crue de projet (janvier 1910) est présentée dans le tableau suivant.

Perte de charge provoquée par les piles à l'état actuel Crue de projet janvier 1910	
Bras de Marly (bras gauche)	0,004 m
Bras de la rivière neuve (bras droit)	0,031 m

5 ETAT PROJET (ETAT DEFINITIF)

Les caractéristiques du projet sont rappelées ci-après.

Profil général de l'ouvrage – Etat projet

- En amont des piles existantes, 6 nouvelles piles sont implantées dans le lit mineur de la Seine et dans l'alignement parfait des piles existantes.
- Pour le bras de Marly (rive gauche), piles en superposée de largeur = 4.2 m. La longueur varie selon la hauteur, 7.3 m à la base, un minimum de 4.9 au centre et 6.7 m en haut. Distance de 1,7 m entre l'aval des piles projets et l'amont des piles existantes à la base.
- Pour le bras de la Rivière Neuve (rive droite), piles en superposée de largeur = 4.2 m. La longueur varie selon la hauteur, 7.0 m à la base, un minimum de 4.1 au centre et 6.8 m en haut. Distance de 1,2 m entre l'aval des piles projets et l'amont des piles existantes à la base.

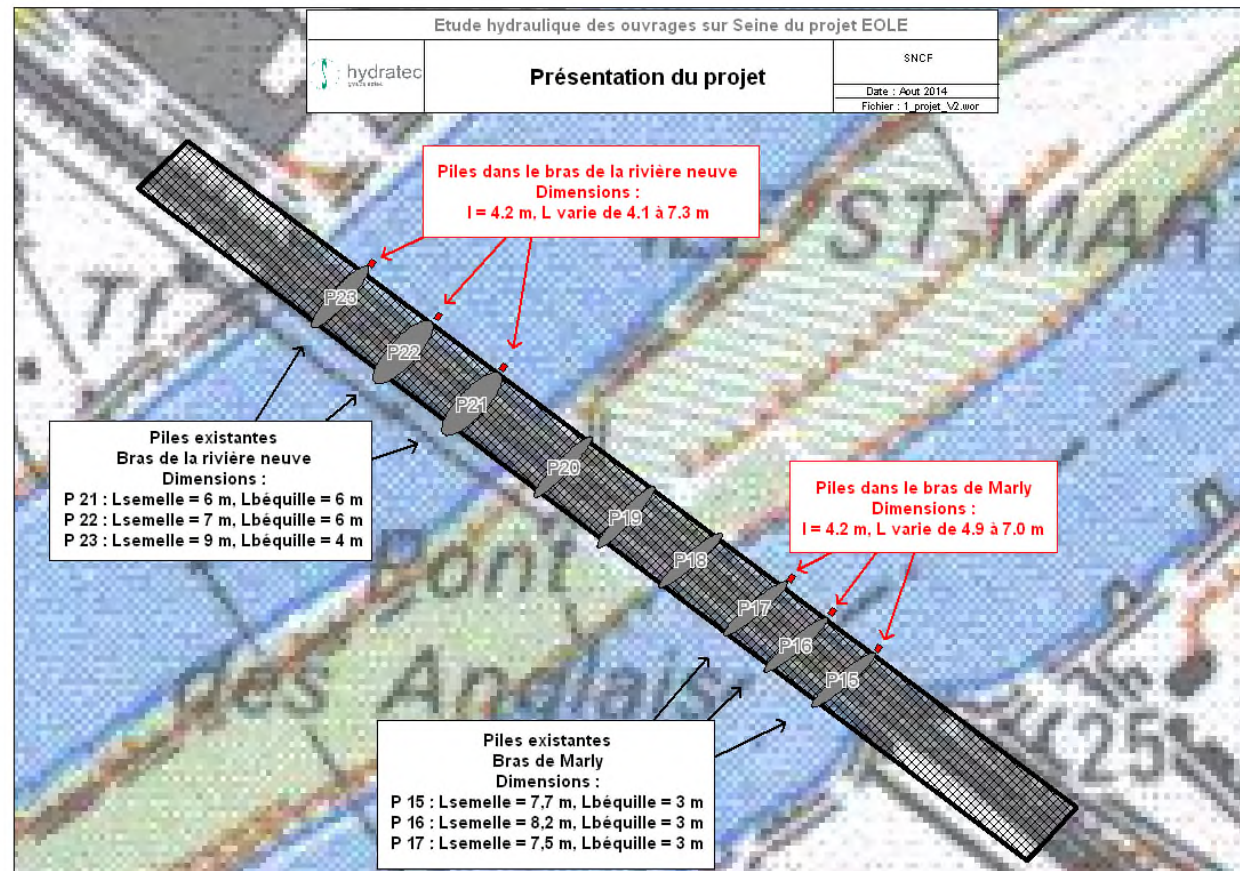


Figure 5-1 : Présentation du projet

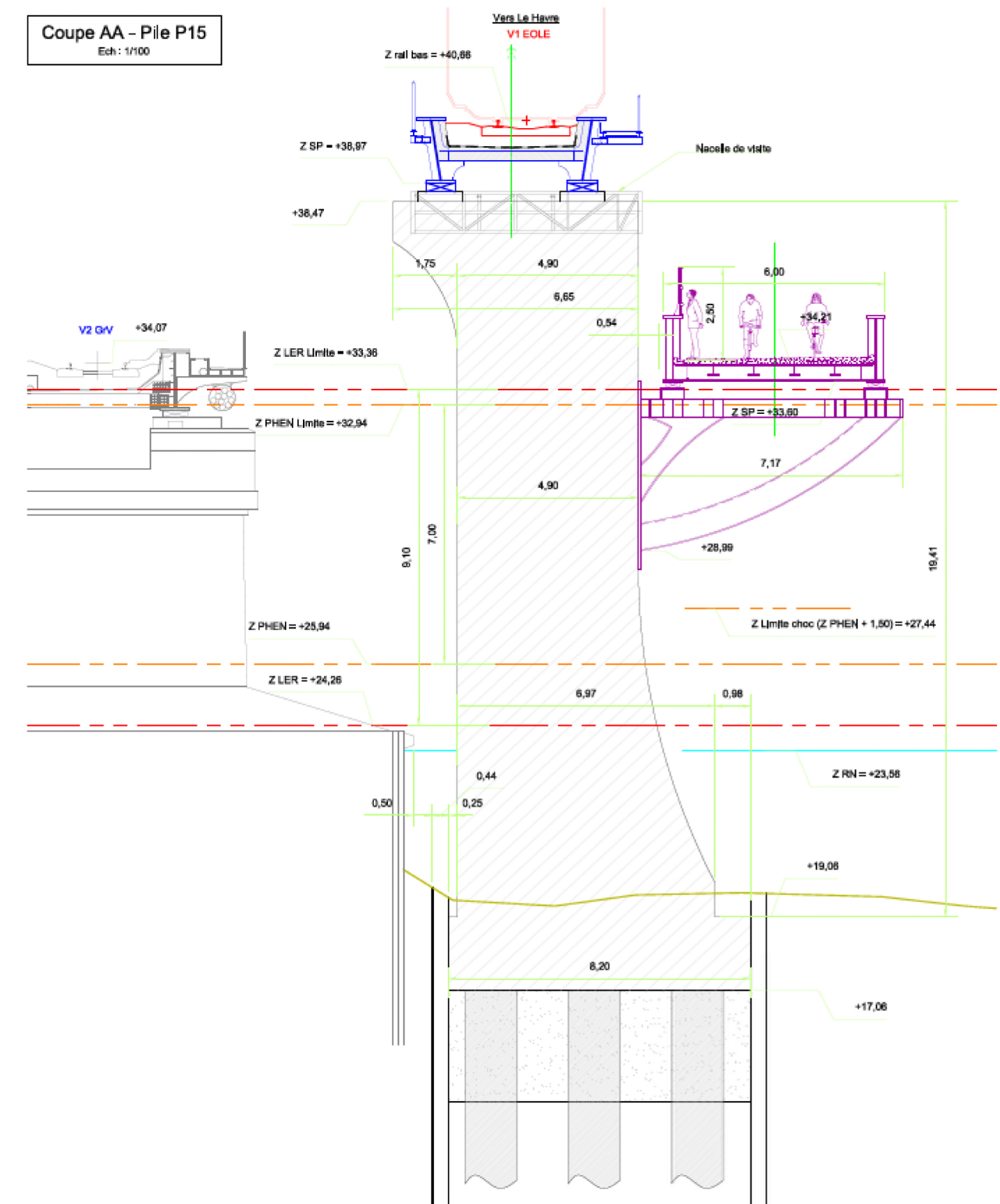


Figure 5-2 : Vue en coupe de la pile P15 : bras de Marly (bras gauche)

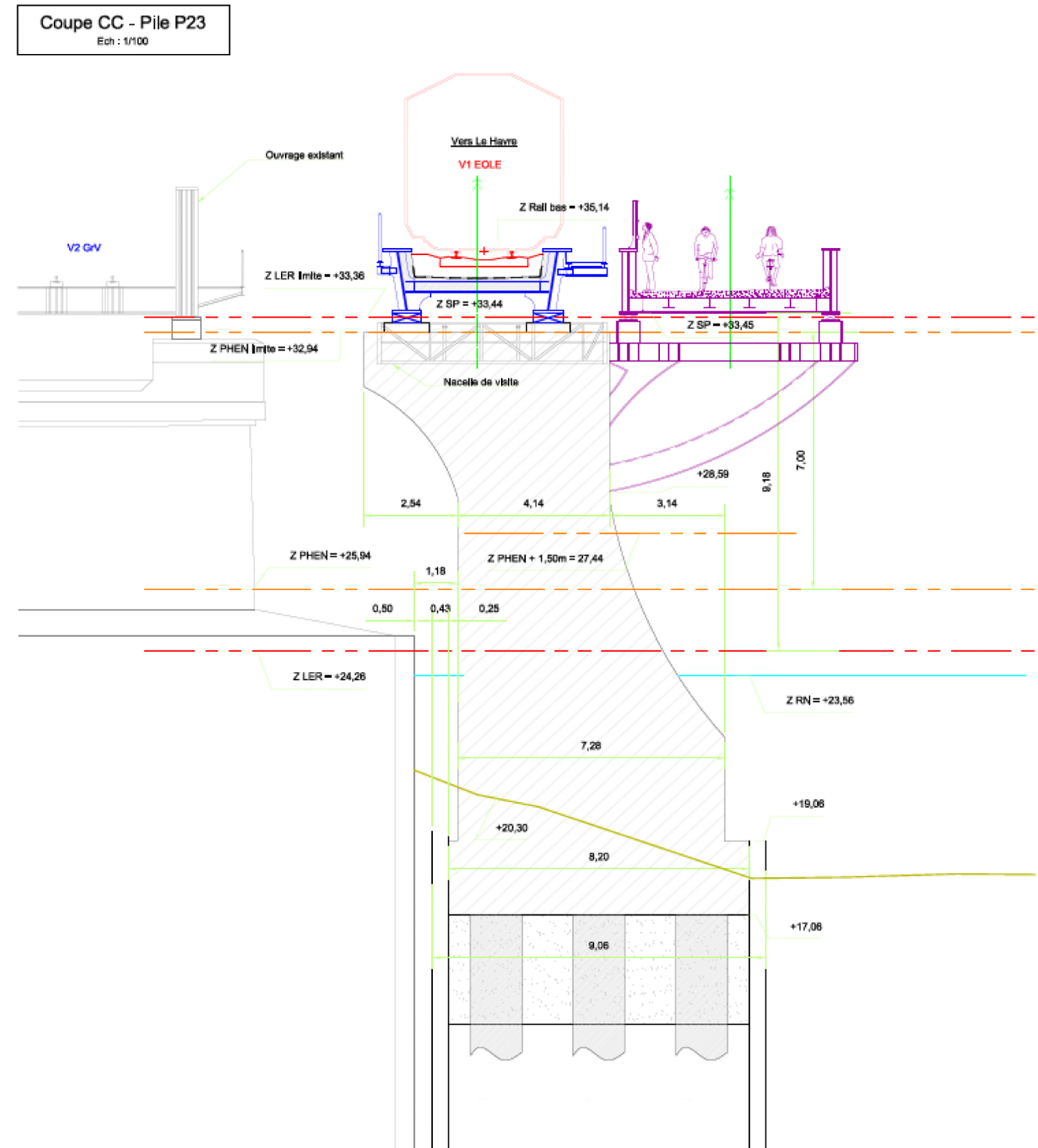


Figure 5-3 : Vue en coupe de la pile P23 : bras de la Rivière Neuve (bras droit)

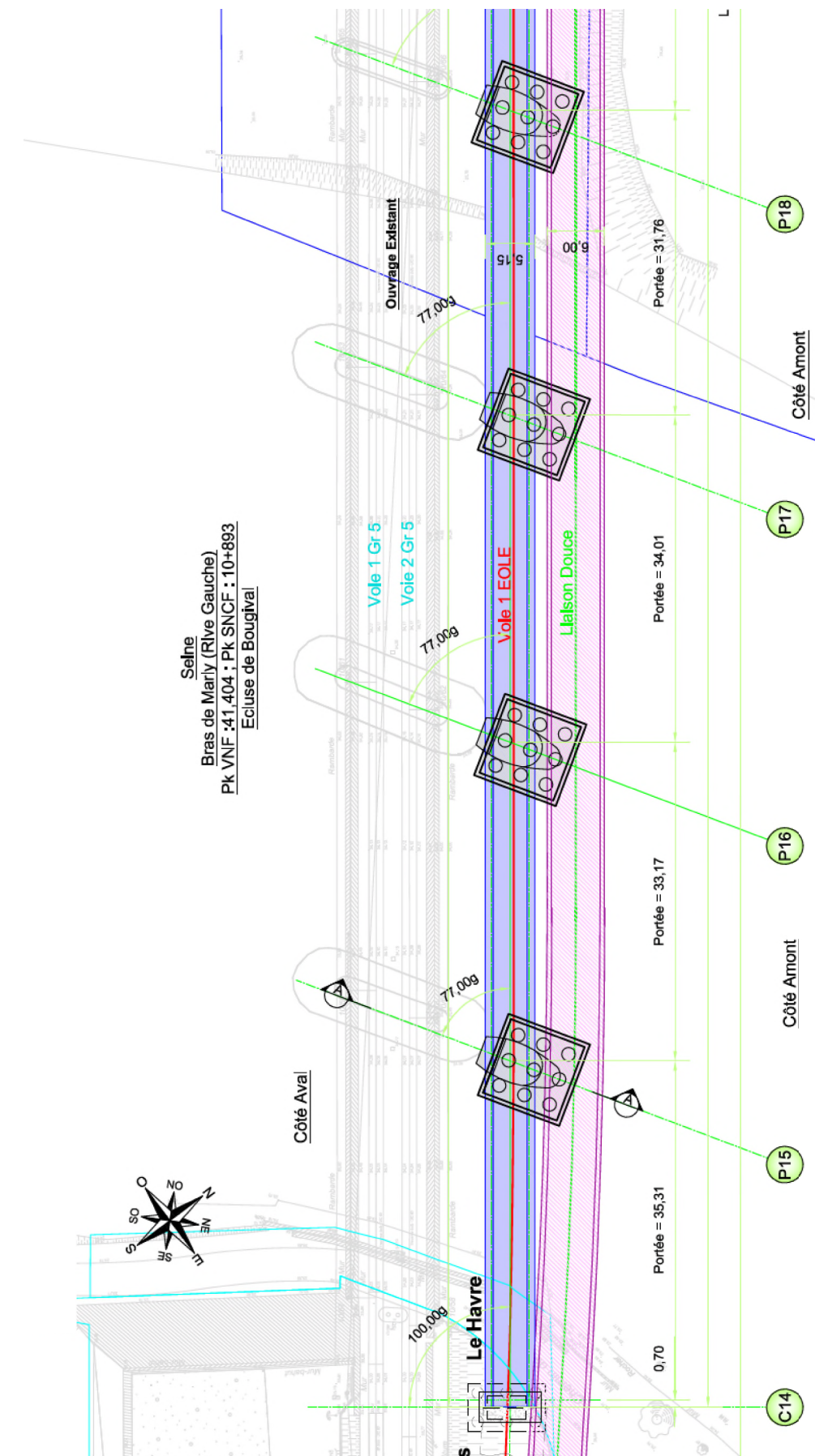


Figure 5-4 : Projet – Bras de Marly

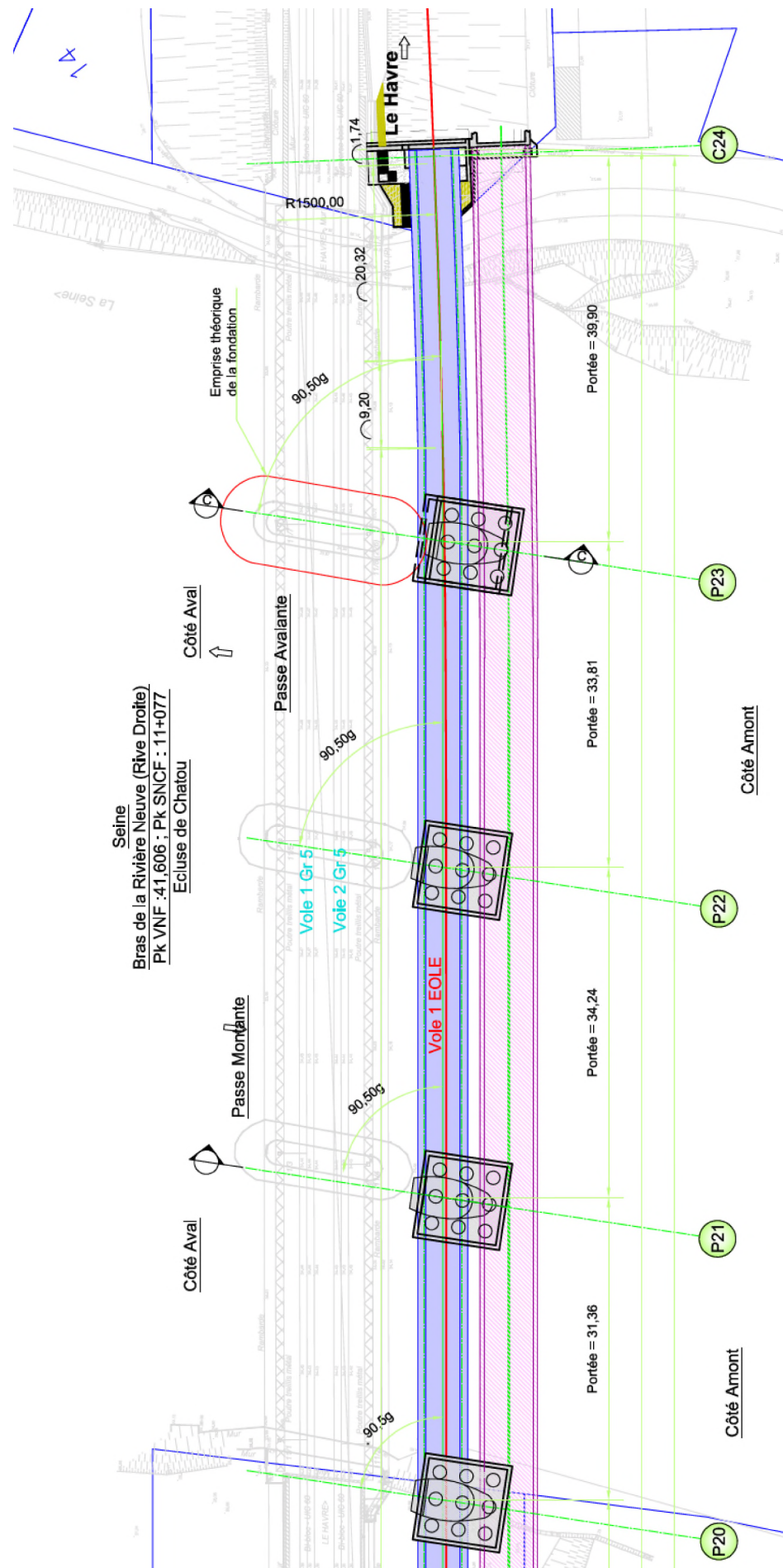


Figure 5-5 : Projet – Bras de la rivière neuve

5.1 METHODE DE BRADLEY

La méthode de Bradley présentée dans le chapitre précédent fournit également une méthode permettant de déterminer les pertes de charges provoquées par une succession de piles, comme c'est le cas à l'état projet.

Dans le cas de deux obstacles successifs et rapprochés, le remous résultant est inférieur au remous cumulé des deux ouvrages, et supérieur à celui provoqué par un seul de ces ouvrages.

La valeur du remous résultant est :

$$h^* = \eta h_1^*$$

où :

- h_1^* est le remous de l'obstacle calculé dans le paragraphe précédent (en m)
- η est fonction de la longueur l de chaque obstacle et de la distance entre l'amont du premier obstacle et l'aval du deuxième obstacle (η est fonction de $\frac{L_d}{l}$).
 η est déterminé à l'aide d'abaques.

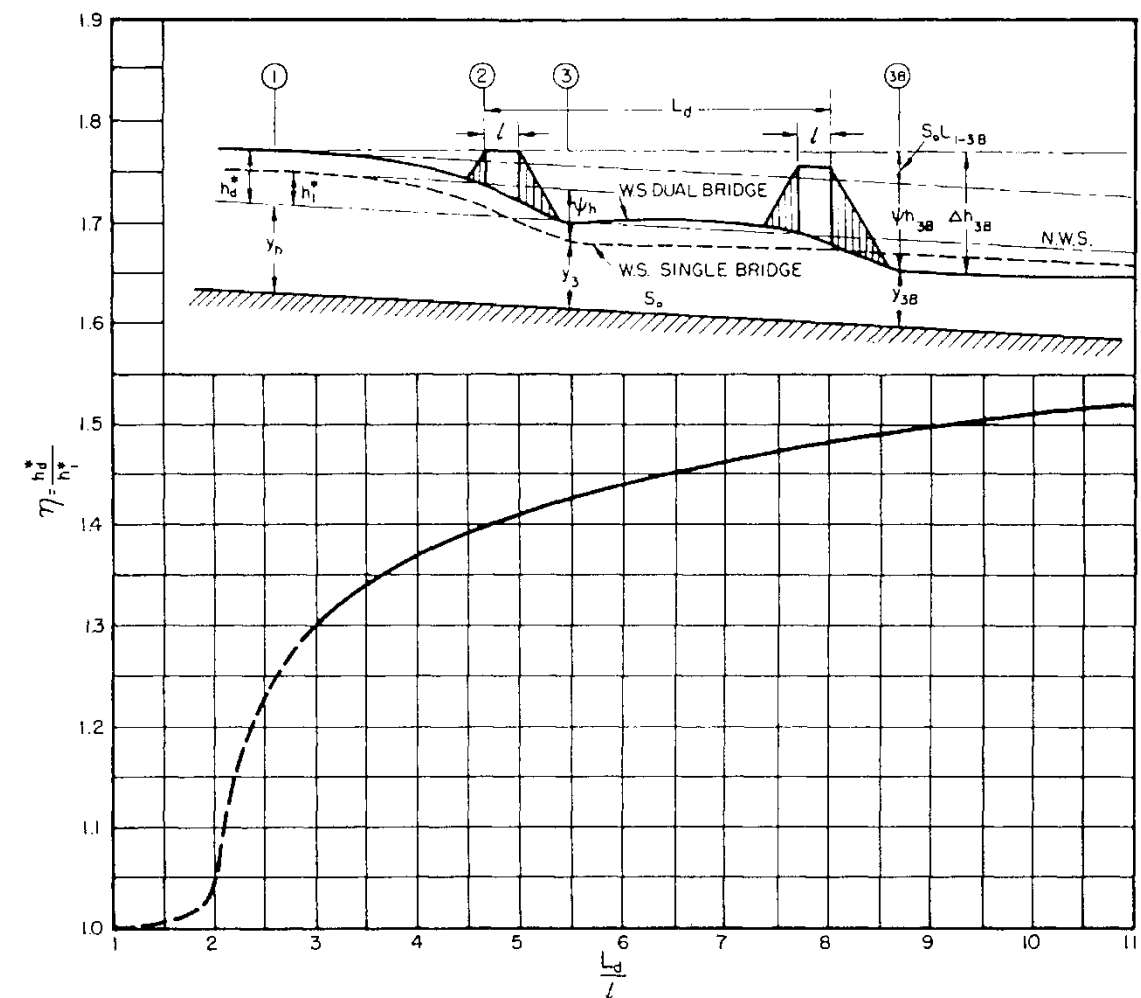


Figure 5-6 : Abaque reliant le rapport L_d/l et η

5.1.1 Bras de Marly (Rive gauche)

Le tableau ci-après résume les valeurs utilisées pour le calcul des piles du pont de la voie ferrée de Bezons en rive gauche à l'état projet.

Calcul de la perte de charge par la méthode de Bradley (deux ponts successifs)		
Longueur moyenne des obstacles (projet et actuel)	I	9.0
Distance entre les deux obstacles	Ld	25.0
Coefficient multiplicateur	η	1.27
Perte de charge état actuel (m)	h* actuel	0.004
Perte de charge état projet (m)	h* projet	0.005
Impact du projet sur la perte de charge (m)	Δ	0.001

Tableau 5-1 : Calcul du remous à l'état projet pour la crue de référence – Bras de Marly

Pour le bras de Marly (rive gauche), la perte de charge provoquée par le pont de Bezons à l'état projet vaut 5 mm pour la crue de projet. L'impact du projet sur l'élévation du niveau d'eau amont est de l'ordre de 1 mm.

5.1.2 Bras de la rivière neuve (Rive droite)

Le tableau ci-après résume les valeurs utilisées pour le calcul des piles du pont de la voie ferrée de Bezons en rive droite à l'état projet.

Calcul de la perte de charge par la méthode de Bradley (deux ponts successifs)		
Longueur moyenne des obstacles (projet et actuel)	I	11.5
Distance entre les deux obstacles	Ld	25.0
Coefficient multiplicateur	η	1.05
Perte de charge état actuel (m)	h* actuel	0.031
Perte de charge état projet (m)	h* projet	0.033
Impact du projet sur la perte de charge (m)	Δ	0.002

Tableau 5-2 : Calcul du remous à l'état projet pour la crue de référence – Bras de la rivière neuve

Pour le bras de la rivière neuve (bras droit), la perte de charge provoquée par le pont de Bezons à l'état projet vaut 3,1 cm pour la crue de projet. L'impact du projet sur l'élévation du niveau d'eau amont est de l'ordre de 2 mm.

5.1.3 Impact du projet calculé par la méthode de Bradley

L'élévation du la ligne d'eau à l'amont du pont de Bezons pour la crue de projet a été calculé à partir de la méthode de Bradley, d'abord appliqué dans le cas d'un obstacle seul faisant obstacle à l'écoulement (représentant la situation actuelle), puis dans le cas de deux obstacles successifs (représentant l'état projet).

Les remous provoqués par le pont de Bezons à l'état actuel et à l'état projet pour la crue de 1910 sont résumés dans le tableau ci-après.

	Elévation de la hauteur d'eau due au projet (m)	
	Bras de Marly (bras gauche)	Bras de la rivière neuve (bras droit)
Etat actuel	0.004	0.031
Etat projet	0.005	0.033
Impact du projet sur la ligne d'eau (m)		
	+ 0.001	+ 0.002

Tableau 5-3 : Impact du projet sur la ligne d'eau

L'impact est de l'ordre du millimètre pour le bras gauche (1 mm) et pour le bras droit (2 mm).

5.1.4 Calcul des pertes de charge pour un intervalle de confiance à 95%

L'intervalle de confiance pour une crue de type centennale de la Seine est défini dans le chapitre 2.4. Cet intervalle de 600 m3/s compris entre des débits de 2310 et 2910 m3/s. Il s'agit des débits à Paris, au pont d'Austerlitz. Au droit du pont de Bezons, le débit total transitant dans la Seine n'est plus le même, notamment à cause de l'écrêtement de la crue.

Pour ces valeurs extrêmes de l'intervalle, la répartition des débits entre le bras gauche et le bras droit est la suivante :

Pour un débit de 2310 m3/s au pont d'Austerlitz à Paris :

- Débit transitant dans le bras droit : Q = 1550 m3/s
- Débit transitant dans le bras gauche : Q = 780 m3/s

Pour un débit de 2910 m3/s au pont d'Austerlitz à Paris :

- Débit transitant dans le bras droit : Q = 1860 m3/s
- Débit transitant dans le bras gauche : Q = 960 m3/s.

Les valeurs de perte de charge à l'état actuel et à l'état projet, ainsi que l'impact du projet, sont présentés pour les deux débits aux extrémités de cet intervalle.

	Intervalle de confiance à 95 %	
	Elévation de la hauteur d'eau pour un débit maximal de 2310 m3/s à Paris (m) Crue de 1910	
	Bras de Marly (bras gauche)	Bras de la rivière neuve (bras droit)
Etat actuel	0.005	0.035
Etat projet	0.006	0.037
Impact de du projet sur la ligne d'eau (m)		
	0.001	0.002

	Elévation de la hauteur d'eau pour un débit maximal de 2910 m3/s à Paris (m) Crue de 1910	
	Bras de Marly (bras gauche)	Bras de la rivière neuve (bras droit)
Etat actuel	0.004	0.026
Etat projet	0.005	0.027
	Impact du projet sur la ligne d'eau (m)	
	0.001	0.001

Tableau 5-4 : Perte de charge calculée aux extrémités de l'intervalle de confiance 95%

Aux deux valeurs extrêmes de l'intervalle de confiance de débit à 95%, le projet impacte le niveau d'eau à l'amont de 1 mm pour le bras gauche, et 2 mm pour le bras droit, c'est-à-dire les mêmes valeurs que pour le débit de projet (2560 m3/s).

Pour l'ensemble de l'intervalle de confiance à 95%, le projet provoque une perte de charge supplémentaire de 1 mm pour le bras gauche et de 1 à 2 mm pour le bras droit.

5.2 METHODE PAR MODELISATION 2D

Pour compléter les calculs présentés précédemment, un deuxième calcul de la perte de charge est réalisé, basé sur la quantité de mouvement.

Cette méthode s'appuie sur une modélisation 2D du lit mineur de la Seine, permettant de déterminer le profil en travers des vitesses au droit du pont du Bezons.

5.2.1 Modélisation du lit 2D

La modélisation du lit de la Seine (bras de Marly, bras de la rivière neuve et île fleurie) est réalisée à l'aide du logiciel HYDRARIV.

Elle est réalisée en deux dimensions, sur un linéaire de 1 km environ (500 mètres à l'amont du pont, 500 mètres à l'aval).

La crue modélisée est la crue de projet, c'est-à-dire la crue de janvier 1910.

Le débit injecté en amont de chacun des bras du modèle est le débit déterminé pour la situation de référence (cf. chapitre 4.1).

La condition limite aval du modèle est fixée par rapport à la cote d'eau du modèle, 500 mètres à l'aval du projet :

- Bras de la rivière neuve (bras droit) : Zaval = 28.05 m NGF,
- Bras de Marly (bras gauche) : Zaval = 28.18 m NGF.

Les paramètres de calage retenus pour ce modèle sont les mêmes que pour le modèle unidimensionnel :

- Coefficient de Strickler dans le lit mineur : 40.
- Coefficient de Strickler dans le lit majeur : 12.

La modélisation du champ de vitesse et la répartition des vitesses sont présentés ci-après.

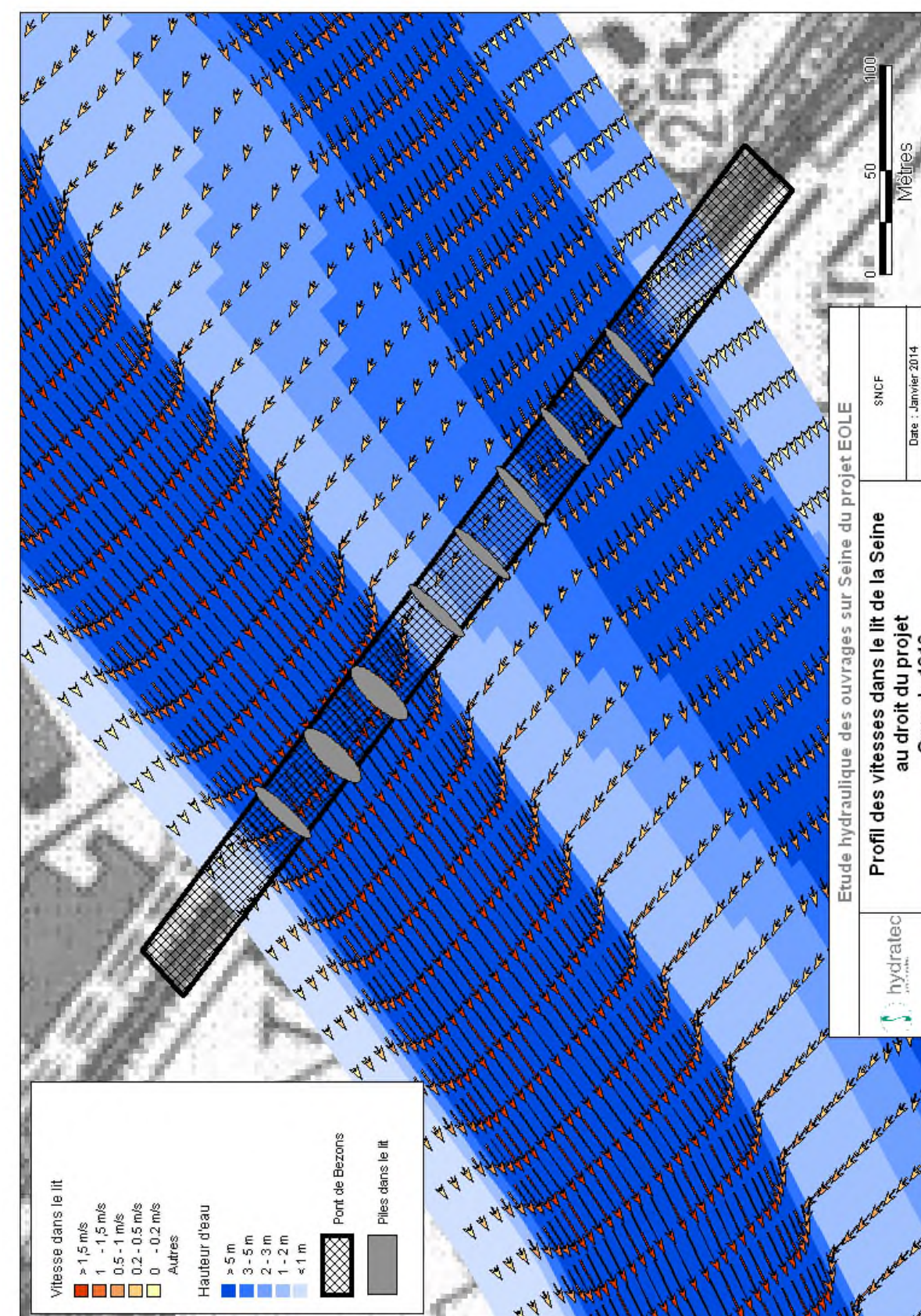


Figure 5-7 : Modélisation du lit de la Seine au droit du pont de Bezons pour la crue de janvier 1910

Champ de vitesse dans le lit de la Seine au droit du pont de Bezons Crue de janvier 1910

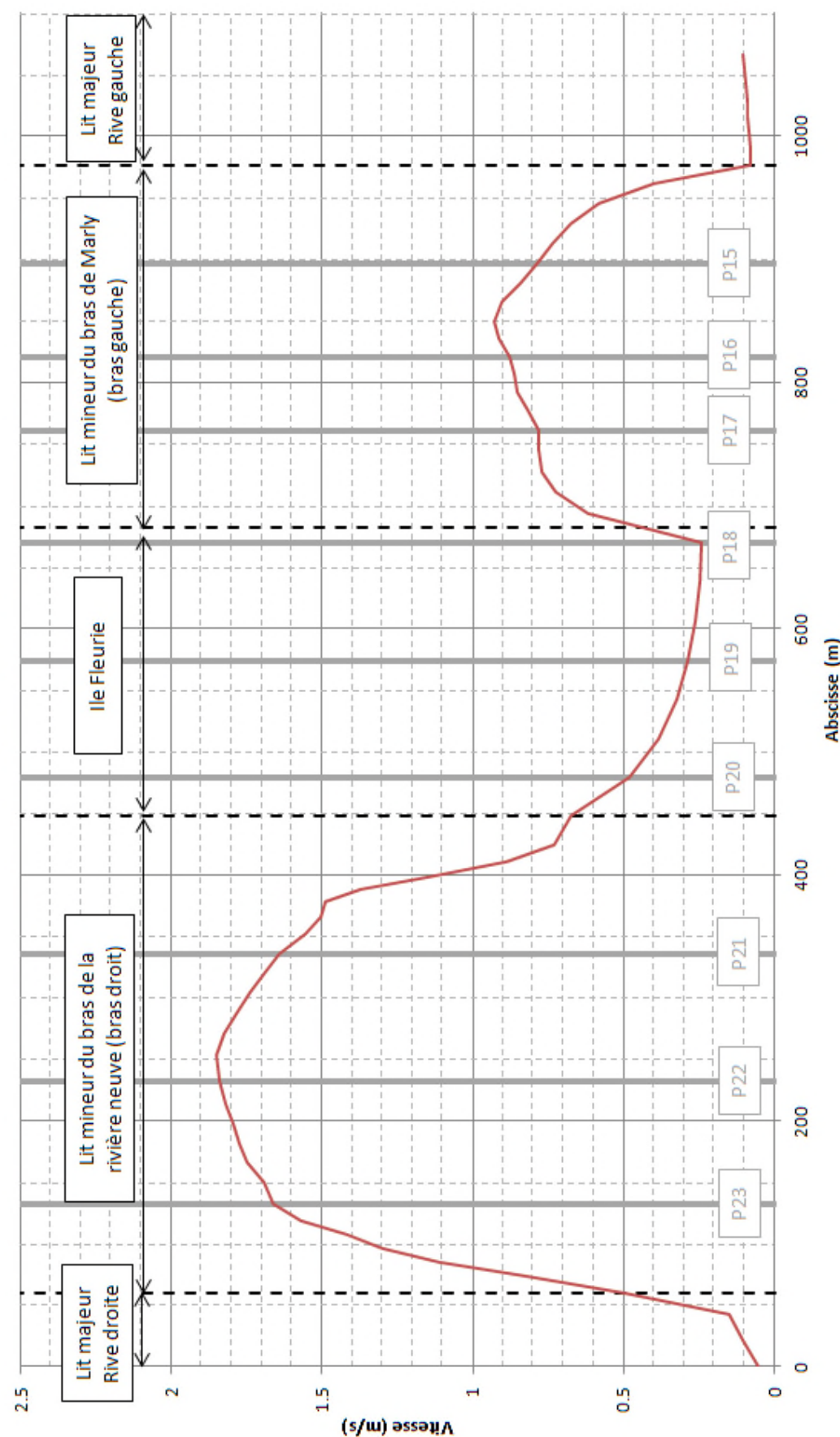


Figure 5-8 : Champ de vitesse au droit du projet et position des piles

p.37/54

Etude hydraulique complémentaire du projet EOLE – Zone de Bezons
hydratec | 01634001 | Septembre 2014 - v.1

SNCF

Pour le bras de la rivière neuve (rive droite), la vitesse maximale dans le lit mineur vaut 1,85 m/s.

Les vitesses maximales au niveau des piles sont les suivantes :

- P21 : $V_{\max} = 1,64$ m/s
- P22 : $V_{\max} = 1,84$ m/s
- P23 : $V_{\max} = 1,66$ m/s

Pour le bras de Marly (rive gauche) la vitesse maximale dans le lit mineur vaut 0,93 m/s.

Les vitesses maximales au niveau des piles sont les suivantes :

- P15 : $V_{\max} = 0,79$ m/s
- P16 : $V_{\max} = 0,88$ m/s
- P17 : $V_{\max} = 0,78$ m/s

Au niveau de l'île fleurie, la vitesse maximale sur la rive droite, en contact avec le bras de la rivière neuve, et vaut 0,68 m/s.

Les vitesses maximales au niveau des piles sont les suivantes :

- P18 : $V_{\max} = 0,24$ m/s
- P19 : $V_{\max} = 0,29$ m/s
- P20 : $V_{\max} = 0,48$ m/s

5.2.2 Calcul de la perte de charge par la méthode des quantités de mouvement

Le théorème de la quantité de mouvement appliqué à la surface fermée correspondant au lit mineur d'un bras de la Seine donne l'expression du remous suivante :

$$h^* = \frac{\frac{1}{2} 1,15 C_x S_{piles} V_n^2}{g S_{mouillée}}$$

avec :

- h^* le remous (en m)
- V_n la vitesse de l'écoulement dans la section rétrécie sous le tirant d'eau égal à celui de l'écoulement non perturbé (en m/s)
- S_{piles} la somme des sections des piles normales à l'écoulement (en m²)
- $S_{mouillée}$ la surface mouillée de l'écoulement dans la section du pont sous le tirant d'eau égal à celui de l'écoulement (m²)
- C_x est le coefficient de trainée.

Le coefficient de trainée est déterminé à partir des abaques du *Mémento des pertes de charges* par I.E. Idel'cik.

Ces abaques fournissent des coefficients de trainée pour différents profils d'obstacles.

Les coefficients retenus sont issus des diagrammes 10.2 et 10.3 valent :

- Pour les piles du pont à l'état actuel (profils arrondis) : $C_x = 0.66$
- Pour les piles du pont à l'état projet (profils ovales) : $C_x = 0.80$

Ces coefficients de trainée permettent de déterminer deux pertes de charges, une perte de charge à l'état actuel et une perte de charge à l'état projet.

Le tableau ci-après résume les valeurs utilisées pour le calcul.

Calcul de la perte de charge par la méthode des quantités de mouvement Bras de la rivière neuve (bras droit)		
Débit crue projet (m3/s)	Q	1690
Cote d'eau pour la crue de projet (m NGF)	Zeau	28.10
Vitesse moyenne d'écoulement (m/s)	Vn	1.71
Section mouillée sans pont (m²)	Smouillée	1300
Section obstruée par les béquilles (m²)	Spiles	162
Coefficient de trainée - Etat actuel	Cx	0.66
Perte de charge à l'état actuel(m)	h*	0.014
Coefficient de trainée - Etat projet	Cx	0.80
Perte de charge à l'état actuel(m)	h*	0.017
Impact du projet	Δh^*	0.003

Tableau 5-5 : Calcul de la perte de charge par la méthode des quantités de mouvement, bras droit

Pour le bras de la rivière neuve, à l'état actuel, la perte de charge liée au pont donnée par la méthode des quantités de mouvement est de 14 cm. Pour l'état projet, elle vaut 17 cm.

L'impact du projet calculé par la méthode des quantités de mouvement pour le bras droit vaut donc 3 mm.

Calcul de la perte de charge par la méthode des quantités de mouvement Bras de Marly (bras gauche)		
Débit crue projet (m3/s)	Q	860
Cote d'eau pour la crue de projet (m NGF)	Zeau	28.22
Vitesse moyenne d'écoulement (m/s)	Vn	0.82
Section mouillée sans pont (m²)	Smouillée	1270
Section obstruée par les béquilles (m²)	Spiles	79
Coefficient de trainée - Etat actuel	Cx	0.66
Perte de charge à l'état actuel(m)	h*	0.002
Coefficient de trainée - Etat projet	Cx	0.80
Perte de charge à l'état actuel(m)	h*	0.002
Impact du projet	Δh^*	0.001

Tableau 5-6 : Calcul de la perte de charge par la méthode des quantités de mouvement, bras gauche

Pour le bras de Marly, la perte de charge liée au pont donnée par la méthode des quantités de mouvement est la même pour les deux scénarios, actuel et projet, à la précision millimétrique. Elle vaut 2 mm.

L'impact du projet calculé par la méthode des quantités de mouvement pour le bras gauche est de l'ordre millimétrique.

Pour le bras de Marly (bras gauche) l'impact calculé vaut 1 mm pour les deux méthodes utilisées (Bradley et quantités de mouvement).

Pour le bras de la rivière neuve (bras droit), la perte de charge calculée par la méthode des quantités de mouvement vaut 3 mm, et la perte de charge calculée par la méthode de Bradley vaut 2 mm.

La précision des deux méthodes ne permet pas d'obtenir des résultats précis au millimètre près. L'ordre de grandeur des deux résultats est proche (de l'ordre de quelques mm), et confirme que l'impact du projet pour le bras droit de la Seine ne dépasse pas à 1cm. En se plaçant dans une hypothèse sécuritaire, il convient de choisir comme impact retenu du projet celui calculé par la méthode des quantités de mouvement, c'est-à-dire 3 mm.

6 PHASE TRAVAUX

6.1 PRÉSENTATION DE LA PHASE TRAVAUX

En utilisant la même méthode que pour le chapitre 4.3, on calcule la perte de charge provoquée par les enceintes de palplanches et d'estacades réalisées pendant la phase travaux.

L'installation de ces ouvrages est réalisée successivement dans le bras de la Rivière Neuve (bras droit, prévu d'avril 2017 à mai 2018) puis dans le bras de Marly (bras gauche, prévu d'avril 2018 à mai 2019).

Pour chaque phasage, trois solutions sont retenues, mais les solutions 1 et 3 sont identiques vis-à-vis des éléments en Seine. Il y a donc deux scénarios à étudier pour chaque bras :

- Bras de Marly (bras gauche) :
 - o Solution 1/3 consistant en 3 batardeaux (au droit des piles P15, P16 et P17) et deux estacades (entre la rive gauche et P15, et entre P17 et l'île Saint-Martin).
 - o Solution 2 similaire à la solution précédente, à l'exception de la deuxième estacade reliant les piles P16 et P17 à la rive droite (île de Saint-Martin).
- Bras de la Rivière Neuve (bras droit) :
 - o Solution 1/3 consistant en 3 batardeaux (au droit des piles P21, P22 et P23) et deux estacades (entre l'île Saint-Martin et P21, et entre P23 et la rive droite).
 - o Solution 2 similaire à la solution précédente, à l'exception de la deuxième estacade reliant les piles P22 et P23 à la rive droite.

Pour chacune des piles, les palplanches sont installées à l'amont des piles existantes. Elles forment un obstacle rectangulaire de largeur égale à 9.06 m et de longueur 9.06 m.

Concernant les estacades, elles sont fixées sur des pieux stabilisateurs de diamètre extérieur $\Phi = 1,0$ m, distant de 11 m en moyenne entre 10 et 15 mètres) suivant l'axe du pont, et de 7,0 m suivant l'axe de la rivière.

La base des estacades est fixée à la cote $Z = 26.44$ m (40 cm au-dessus des PHEN (plus hautes eaux navigables)). La cote haute est fixée à $Z = 27.84$ m, soit une hauteur d'estacade de 1,40 m.

La largeur des estacades varie selon le bras et le scénario (de 27 à 72 m).

Les figures suivantes présentent les 4 configurations de la phase travaux.

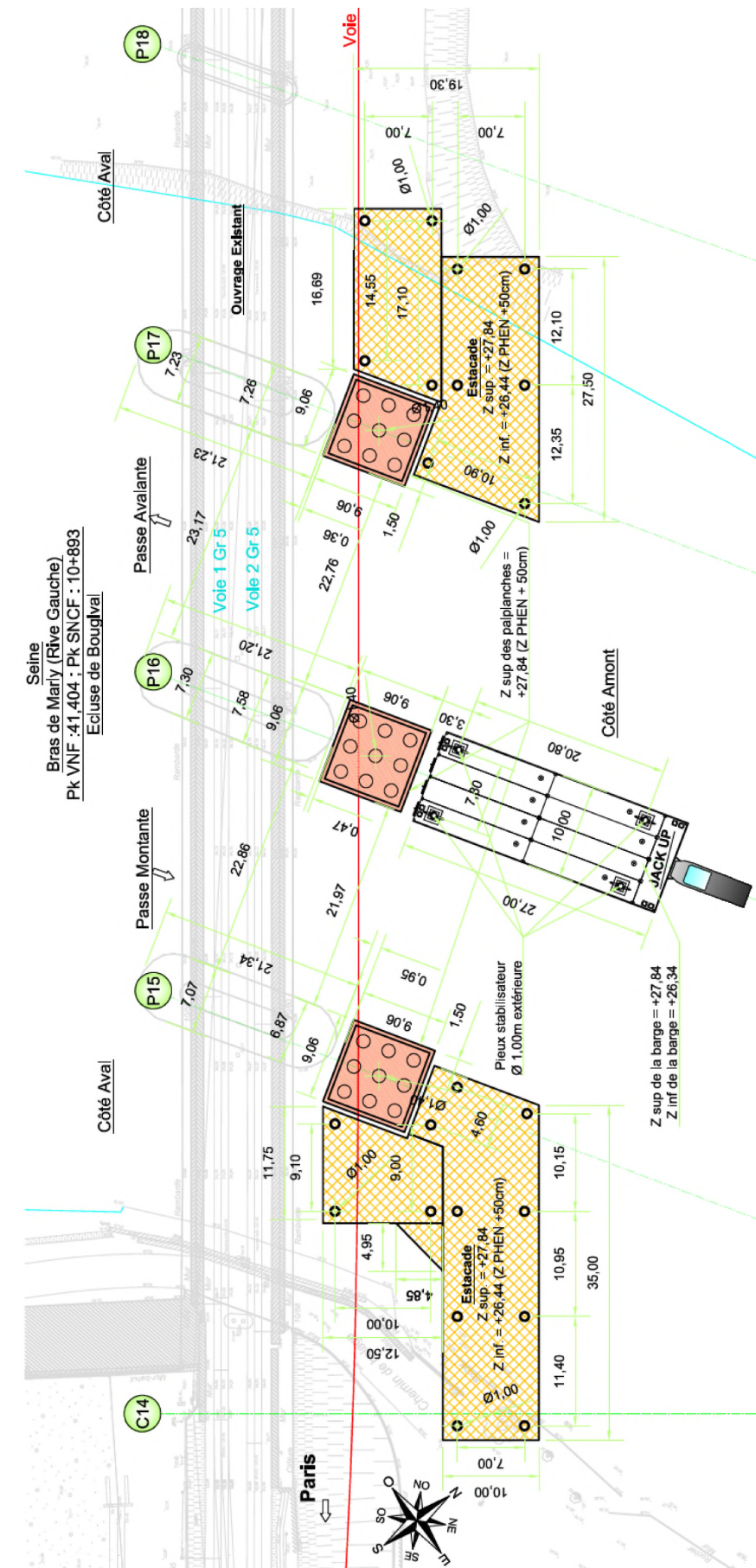


Figure 6-1 : Solutions 1/3 pour le bras de Marly (rive gauche)

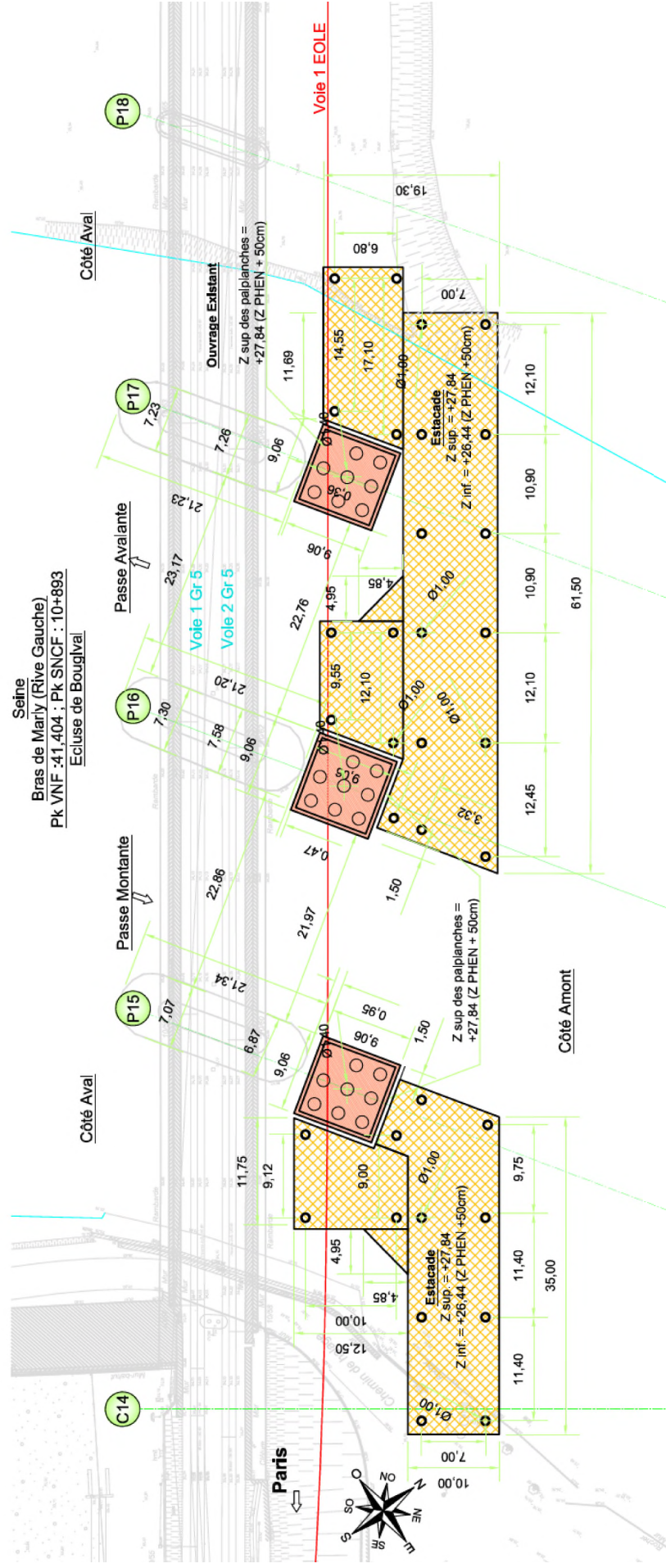


Figure 6-2 : Solution 2 pour le bras de Marly (rive gauche)

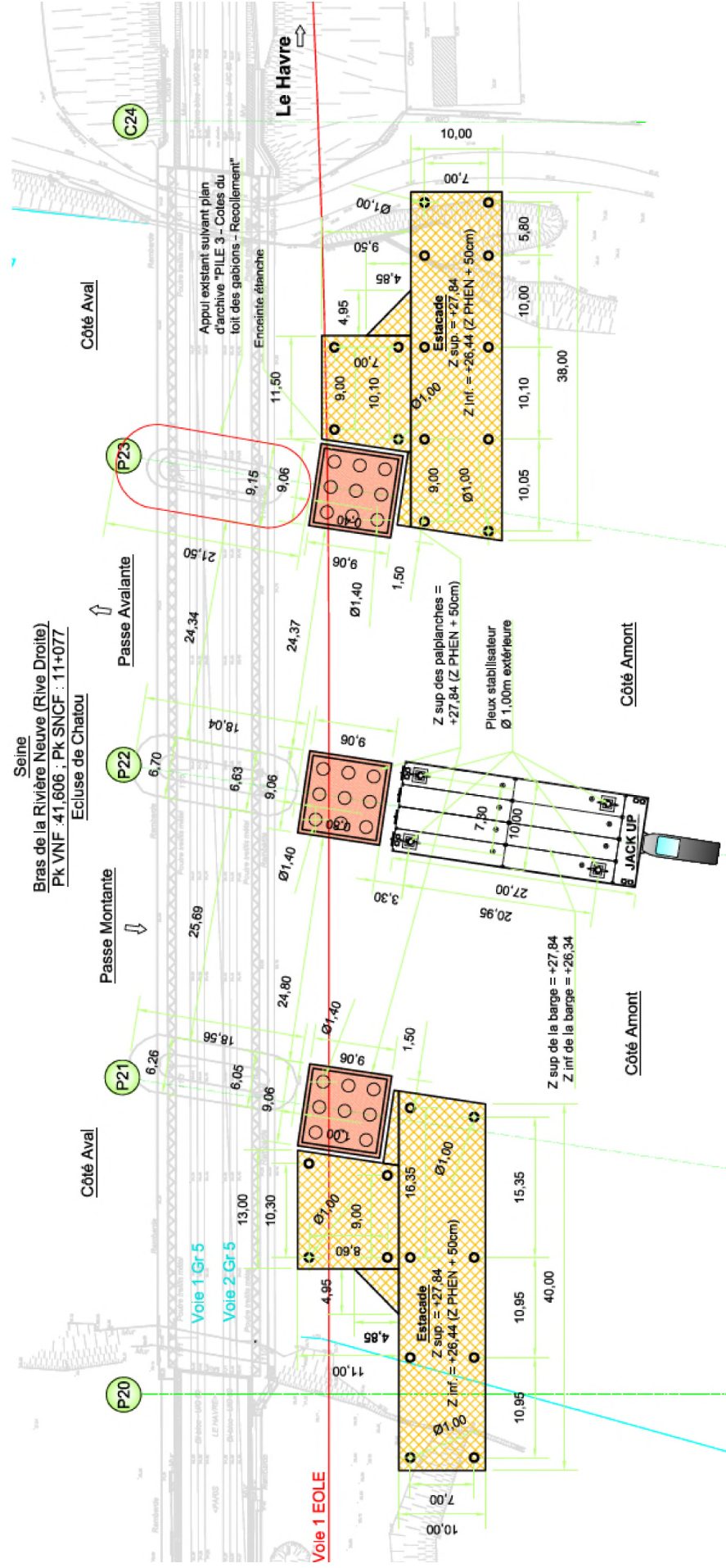


Figure 6-3 : Solution 1/3 pour le bras de la Rivière Neuve (rive droite)

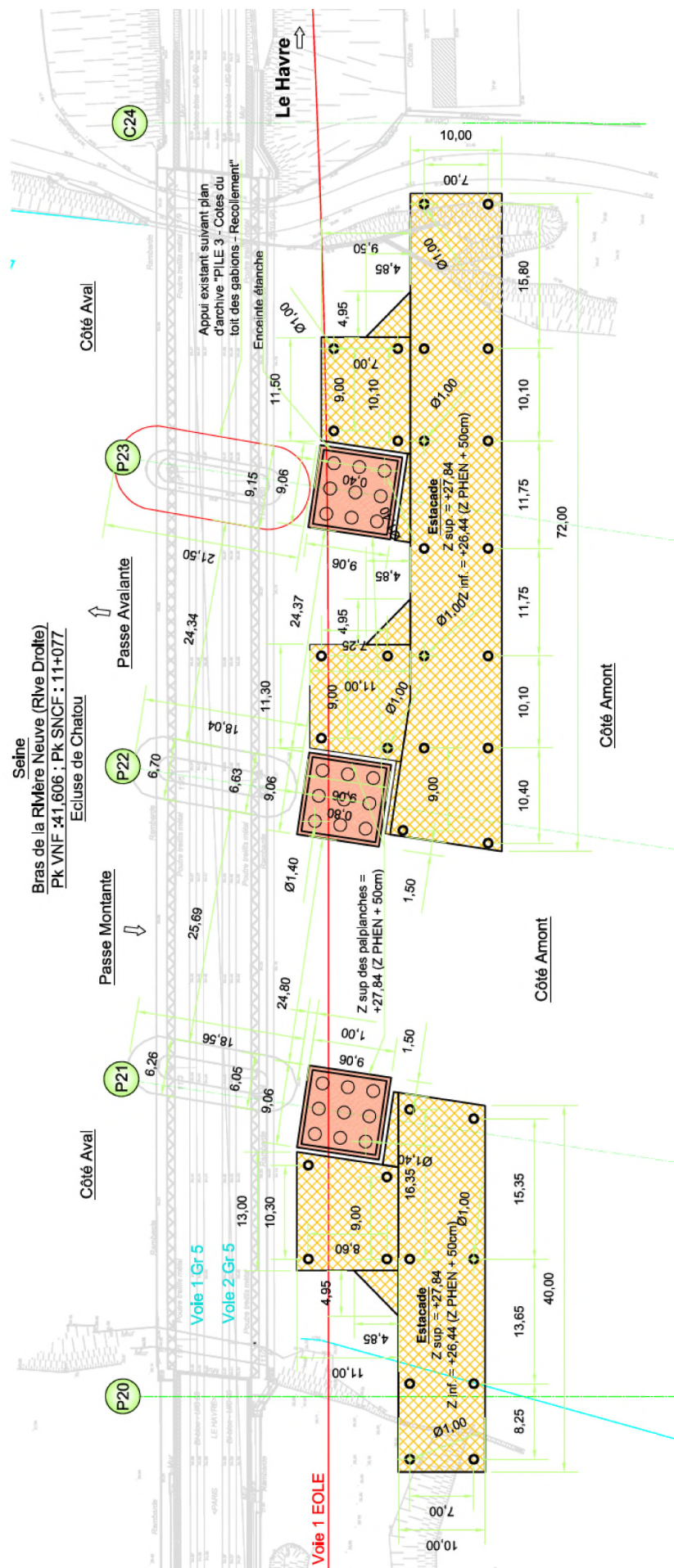


Figure 6-4 : Solution 2 pour le bras de la Rivière Neuve (bras droit)

p.45/54

Etude hydraulique complémentaire du projet EOLE – Zone de Bezons
hydratec | 01634001 | Septembre 2014 - v.1

SNCF

Pour le calcul de la perte de charge par la méthode de Bradley, la méthode des deux obstacles successifs n'est plus applicable dans le cas présent, puisque l'obstacle créé par les palplanches et les estacades est plus important que pour l'obstacle existant. On applique donc la même méthode que pour le chapitre 4.3 (remous induit par une pile rectangulaire).

La cote maximale des palplanches est fixée à la cote 26,00 m NGF. La section obstruée par les palplanches est donc calculée entre le fond et la cote maximale des palplanches, et non plus entre le fond et la cote d'eau de la crue.

Concernant les estacades, la section obstruée correspond à la somme de :

- La section obstruée par les pieux stabilisateur (1 m de diamètre et hauteur calculée à partir de la cote d'implantation dans le lit mineur et la cote de la base de l'estacade 26.44 m)
- La section obstruée par l'estacade elle-même. Pour la crue de 1982, le niveau dans la Seine atteint l'estacade mais celle-ci n'est pas submergée.

Pour chacun de ces scénarios, on réalise le calcul pour une crue de type vicennale (crue de janvier 1982).

6.2 BRAS DE MARLY (RIVE GAUCHE)

6.2.1 Scénario 1/3

Le tableau ci-après résume les valeurs utilisées pour le calcul du remous induit pour la phase travaux, pour la crue de 1982 (bras de Marly).

Calcul de la perte de charge par la méthode de Bradley Phase travaux – Scénario 1/3		
Débit crue j82 (m3/s)	Q	597
Cote d'eau pour la crue j82 (m NGF)	Zeau	26.54
Vitesse moyenne d'écoulement (m/s)	Vn	1.1
Section mouillée sans pont (m²)	An2	758
Section obstruée par les béquilles (m²)	Ap	225
Rapport des deux sections	J	0.30
Coefficient d'énergie cinétique	α2	1
Coefficient de remous (via abaque)	Kp	0.9
Perte de charge état actuel (m)	h* actuel	0.009
Perte de charge état projet (m)	h* projet	0.058
Impact du projet sur la perte de charge (m)	Δ	0.049

Tableau 6-1 : Calcul du remous en phase travaux pour la crue de 1982 – Bras de Marly – Scénario 1/3

La perte de charge pour la crue de janvier 1982 en phase travaux vaut 6 cm.

La perte de charge augmente de 5 cm par rapport à l'état initial.

6.2.2 Scénario 2

Le tableau ci-après résume les valeurs utilisées pour le calcul du remous induit pour la phase travaux, pour la crue de 1982 (bras de Marly).

Calcul de la perte de charge par la méthode de Bradley Phase travaux – Scénario 2		
Débit crue j82 (m3/s)	Q	597
Cote d'eau pour la crue j82 (m NGF)	Zeau	26.54
Vitesse moyenne d'écoulement (m/s)	Vn	1.2
Section mouillée sans pont (m²)	An2	758
Section obstruée par les béquilles (m²)	Ap	193
Rapport des deux sections	J	0.32
Coefficient d'énergie cinétique	α_2	1
Coefficient de remous (via abaque)	Kp	1.05
Perte de charge état actuel (m)	h* actuel	0.009
Perte de charge état projet (m)	h* projet	0.071
Impact du projet sur la perte de charge (m)	Δ	0.062

Tableau 6-2 : Calcul du remous en phase travaux pour la crue de 1982 – Bras de Marly- Scénario 2

La perte de charge pour la crue de janvier 1982 en phase travaux vaut 7 cm. Le remous est plus important que pour le scénario 1/3 car la section obstruée par les estacades est plus importante. Le rapport J (32% d'obstruction au lieu de 30%) et donc le coefficient de remous (1.05 au lieu de 0.9), sont plus importants.

La perte de charge augmente de 7 cm par rapport à l'état initial, et de 2 cm par rapport au scénario 1/3.

6.3 BRAS DE LA RIVIÈRE NEUVE (RIVE DROITE)

6.3.1 Scénario 1/3

Le tableau ci-après résume les valeurs utilisées pour le calcul du remous induit pour la phase travaux, pour la crue de 1982 (bras de Marly).

Calcul de la perte de charge par la méthode de Bradley Phase travaux – Scénario 1/3		
Débit crue j82 (m3/s)	Q	1242
Cote d'eau pour la crue j82 (m NGF)	Zeau	26.45
Vitesse moyenne d'écoulement (m/s)	Vn	1.7
Section mouillée sans pont (m²)	An2	981
Section obstruée par les béquilles (m²)	Ap	266
Rapport des deux sections	J	0.27
Coefficient d'énergie cinétique	α_2	1
Coefficient de remous (via abaque)	Kp	0.8
Perte de charge état actuel (m)	h* actuel	0.067
Perte de charge état projet (m)	h* projet	0.123
Impact du projet sur la perte de charge (m)	Δ	0.056

Tableau 6-3 : Calcul du remous en phase travaux pour la crue de 1982 – Bras de la rivière neuve – Scénario 1/3

La perte de charge pour la crue de janvier 1982 en phase travaux vaut 12 cm, soit 6 cm de plus que pour l'état initial.

6.3.2 Scénario 2

Le tableau ci-après résume les valeurs utilisées pour le calcul du remous induit pour la phase travaux, pour la crue de 1982 (bras de Marly).

Calcul de la perte de charge par la méthode de Bradley Phase travaux – Scénario 2		
Débit crue j82 (m3/s)	Q	1242
Cote d'eau pour la crue j82 (m NGF)	Zeau	26.45
Vitesse moyenne d'écoulement (m/s)	Vn	1.8
Section mouillée sans pont (m²)	An2	981
Section obstruée par les béquilles (m²)	Ap	290
Rapport des deux sections	J	0.30
Coefficient d'énergie cinétique	α_2	1
Coefficient de remous (via abaque)	Kp	0.9
Perte de charge état actuel (m)	h* actuel	0.067
Perte de charge état projet (m)	h* projet	0.148
Impact du projet sur la perte de charge (m)	Δ	0.081

Tableau 6-4 : Calcul du remous en phase travaux pour la crue de 1982 – Bras de la rivière neuve – Scénario 2

La perte de charge pour la crue de janvier 1982 en phase travaux vaut 15 cm, soit 8 cm de plus que pour l'état initial et 3 cm de plus que pour le scénario 1/3.

6.4 PERTE DE CHARGE POUR LA PHASE TRAVAUX – CRUE DE 1982

Le tableau ci-après résume les pertes de charge calculées pour les deux bras de la Seine pour la phase travaux. Ces remous sont comparés avec les remous provoqués par le pont de Bezons à l'état actuel.

	Crue de 1982	
	Elévation de la hauteur d'eau due au projet (m)	
	Bras de Marly (bras gauche)	Bras de la Rivière Neuve (bras droit)
Etat actuel	0.009	0.067
Etat travaux, scénario 1/3	0.058	0.123
Etat travaux, scénario 2	0.071	0.148

	Impact du projet sur la ligne d'eau (m)	
	Scénario 1/3	Scénario 2
Scénario 1/3	0.049	0.056
Scénario 2	0.062	0.081

Tableau 6-5 : Impact des scénarios état travaux

Pour la crue de 1982, l'impact du scénario 1/3 vaut +5 cm et +6 cm respectivement pour le bras gauche et le bras droit. Le scénario 2 provoque lui un impact de +6 cm et +8 cm.

Pour cette crue, la Seine au droit du projet de Bezons n'est pas débordante. Les lits majeurs rive gauche et rive droite ne sont donc pas impactés par une élévation de quelques centimètres de la hauteur d'eau dans la Seine.

Pour la crue de 1982 (crue vicennale), le scénario 2 provoque une élévation du niveau de +1 à +2cm du niveau d'eau par rapport à la solution 1/3.

6.5 SENSIBILITE DE LA LIGNE D'EAU PAR RAPPORT A LA PERTE DE CHARGE

Les profils en long présentés sur la page suivante montrent les profils en long sur les deux bras en fonction de la perte de charge au droit du projet, pour la crue de janvier 1910.

Le profil en long de la Seine étant très peu pentue, l'élévation de la ligne d'eau au droit du pont de Bezons provoque une élévation de la ligne d'eau sur une dizaine de kilomètres en amont.

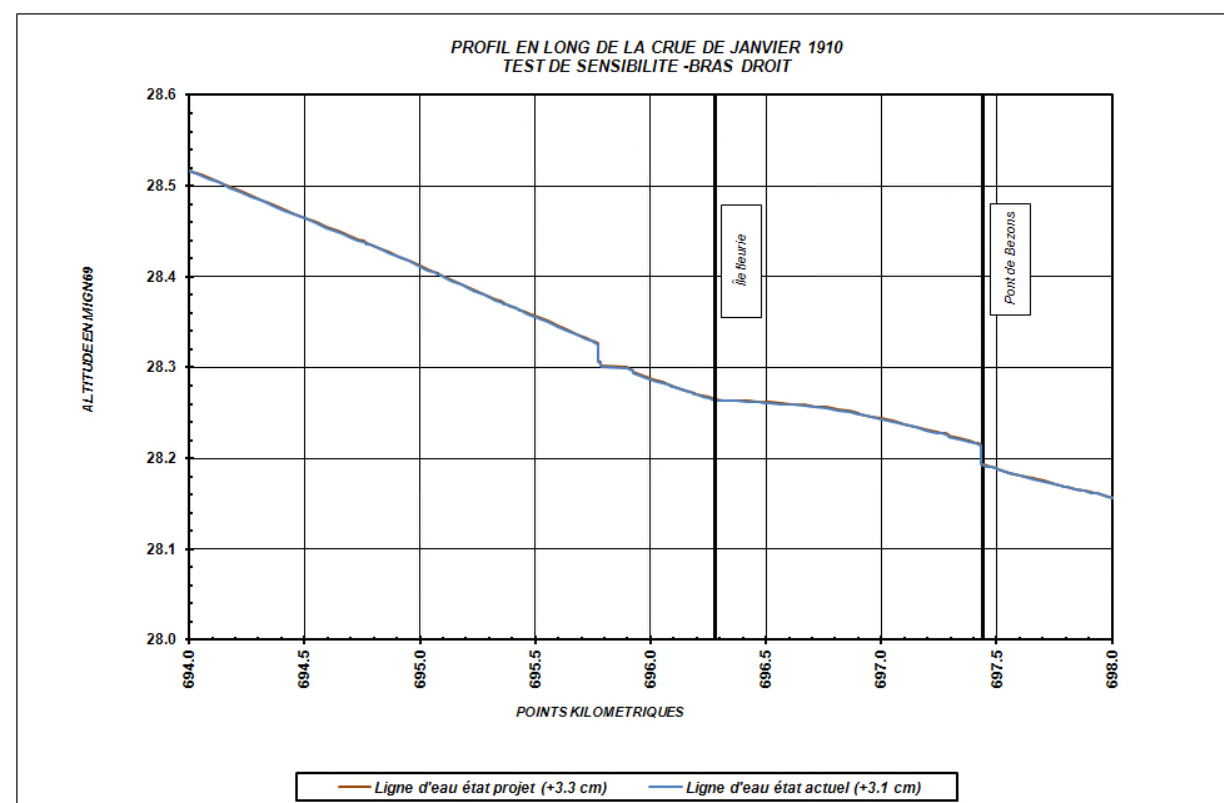


Figure 6-5 : Profil en long en fonction de la perte de charge au droit du pont – Bras droit – j10

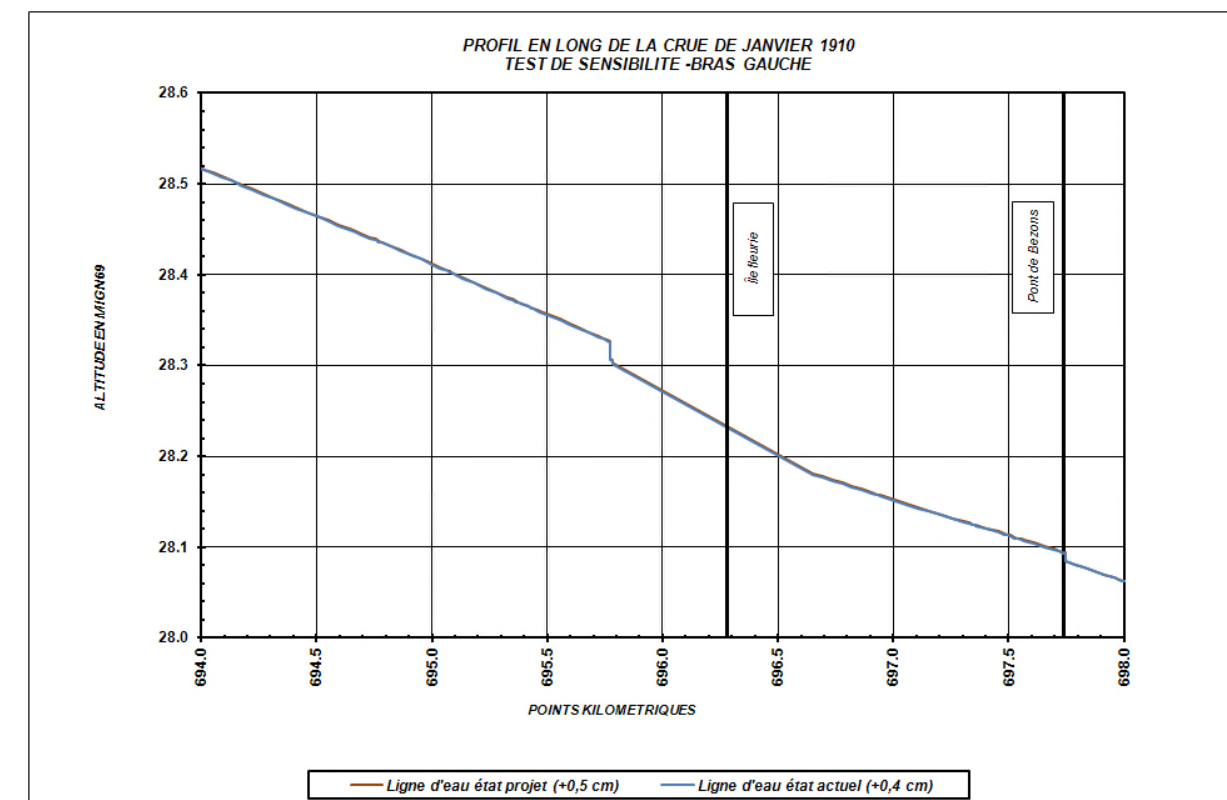


Figure 6-6 : Profil en long en fonction de la perte de charge au droit du pont – Bras gauche – j10

Les deux profils en long ci-après présentent l'impact des deux projets de phase travaux pour la crue de 1982 (bras droit et bras gauche).

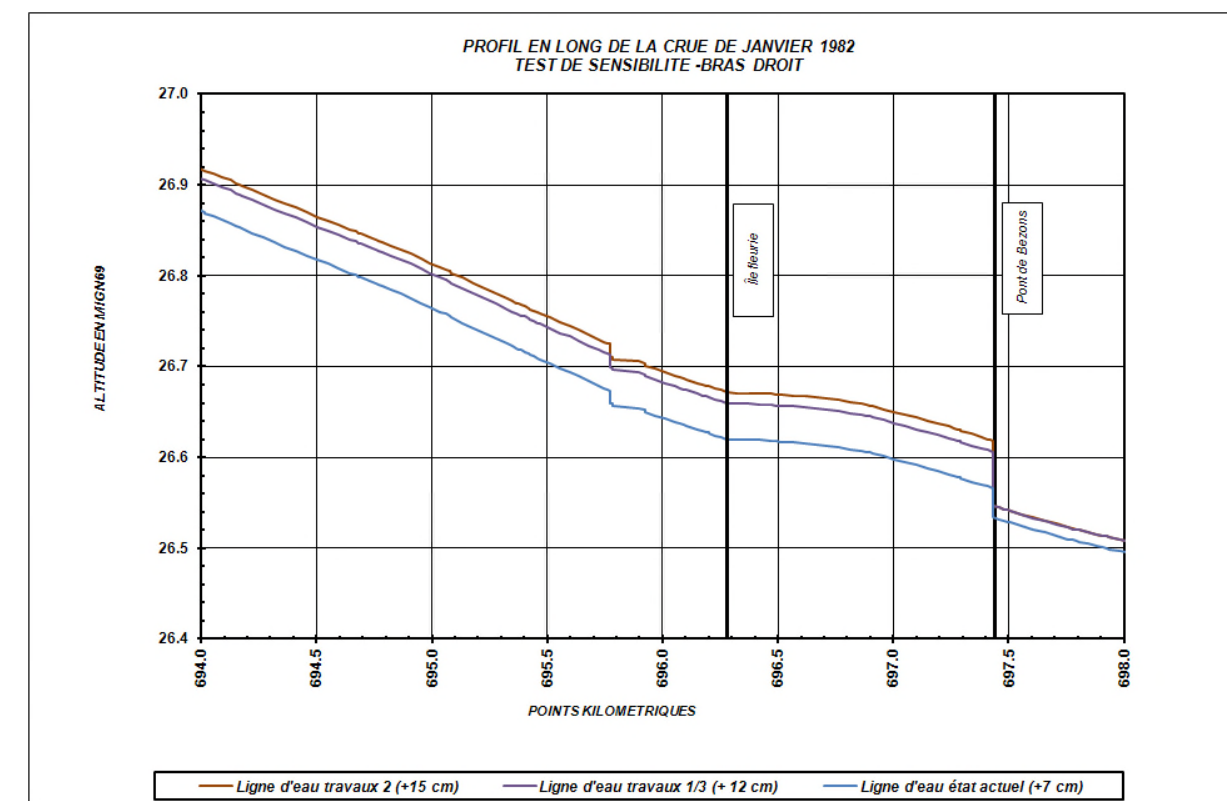


Figure 6-7 : Profil en long en fonction de la perte de charge au droit du pont – Bras droit – j82

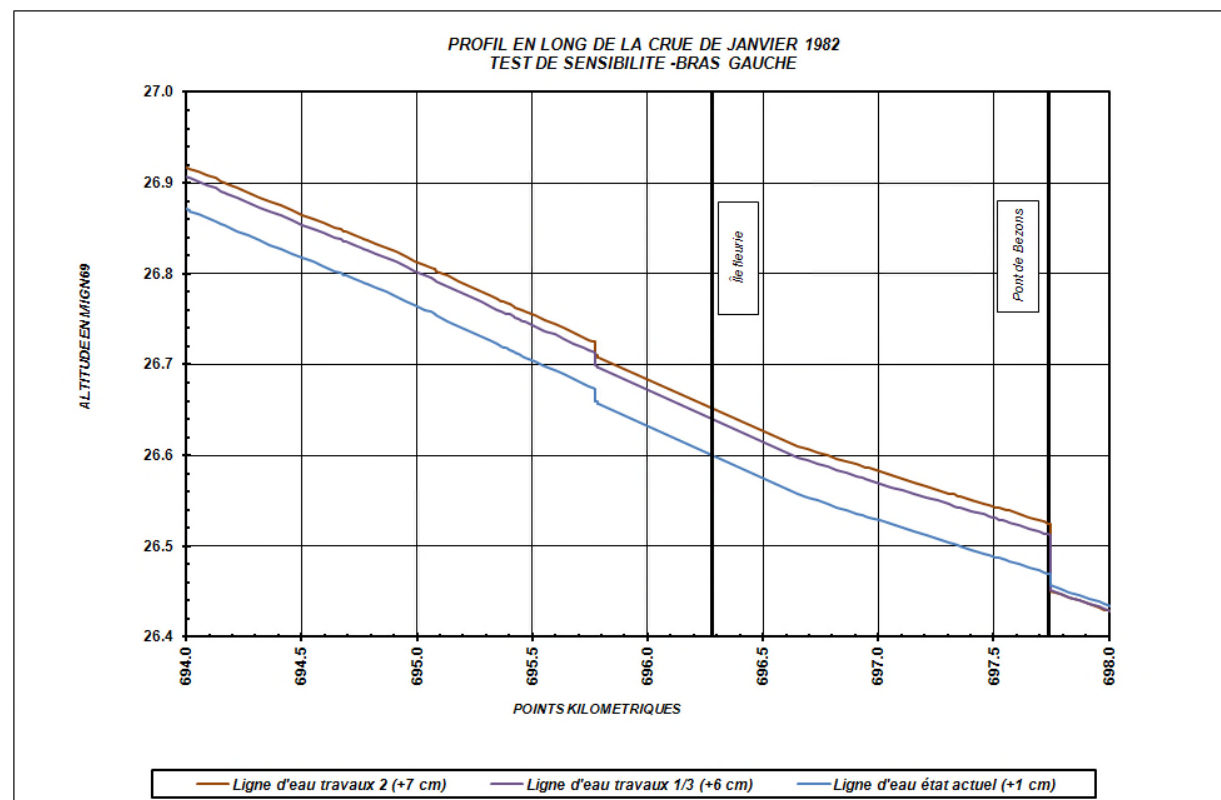


Figure 6-8 : Profil en long en fonction de la perte de charge au droit du pont – Bras gauche – j82

7 SYNTHÈSE

L'étude d'impact hydraulique de l'ouvrage de franchissement de la Seine au droit de Bezons du projet EOLE a été effectuée à l'aide d'une modélisation filaire, accompagnée par une modélisation 2D.

Elle s'appuie sur le modèle numérique des écoulements de crue de la Seine en aval de Paris, réalisé par HYDRATEC dans le cadre de l'étude d'évaluation des dommages économiques en Région Île-de-France pour différentes occurrences de crue forte ou très forte réalisée en 1996-1998 pour le compte de l'IIBRBS. Ce modèle a été ajusté sur le secteur de Bezons en fonction des données bathymétriques récentes et calé à partir des crues de janvier 1910, janvier 1955 et janvier 1982.

Les modifications apportées au projet final et à la phase travaux ont été prises en compte dans la présente étude.

La perte de charge provoquée par le projet a été calculée à partir de la méthode de Bradley et de la méthode des quantités de mouvement. Ces calculs montrent que, dans son état définitif, et pour une crue de même débit que la crue de janvier 1910, l'impact du projet sur la ligne d'eau à l'amont est de l'ordre du millimètre pour le bras droit (bras de la Rivière Neuve) et pour le bras gauche (bras de Marly).

La perte de charge provoquée par une crue de temps de retour identique à celle de janvier 1982 se produisant pendant la phase travaux a également été déterminée.

Trois solutions de phasage ont été retenues, mais les solutions 1 et 3 sont identiques en ce qui concerne les éléments en Seine.

Pour chaque bras, deux scénarios ont donc été étudiés : la solution 1/3 et la solution 2. La solution 2 est plus pénalisante pour les deux bras, la longueur des estacades est plus importante et donc la section obstruée plus grande.

L'étude montre que l'impact maximal de la phase travaux sur la ligne d'eau pour le scénario 1/3 correspond à une augmentation de +5 cm pour le bras gauche (bras de Marly) et de +6 cm pour le bras droit (bras de la rivière neuve).

Pour le scénario 2, l'impact maximal de la phase travaux sur la ligne d'eau vaut +6 cm pour le bras gauche (bras de Marly) et +8 cm pour le bras droit (bras de la Rivière Neuve).

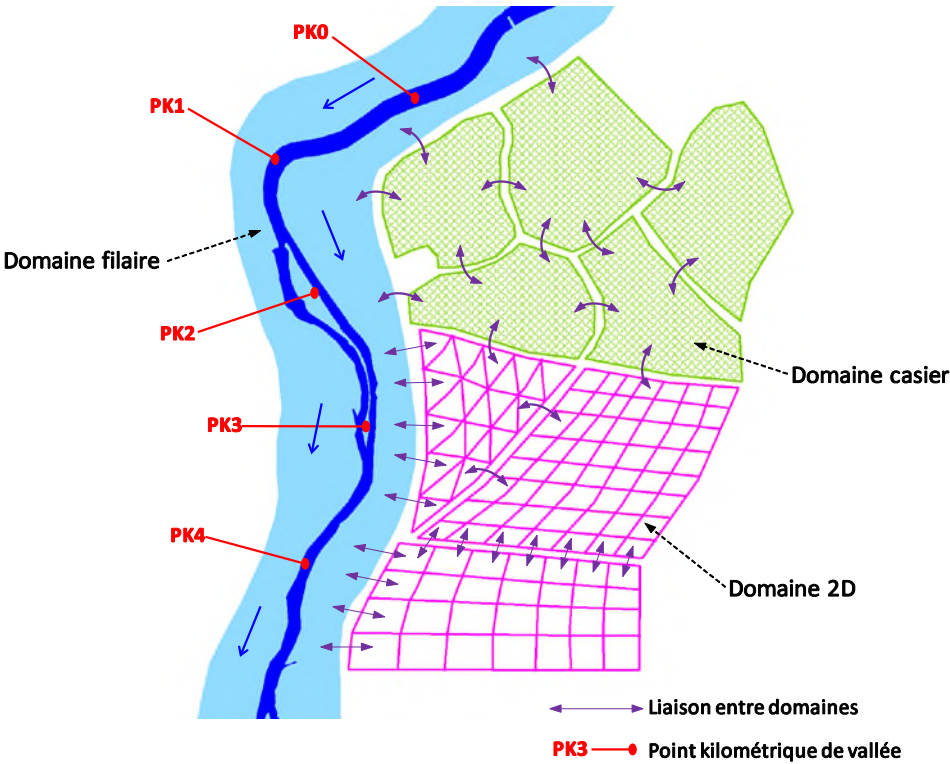
ANNEXES

PRÉSENTATION DU LOGICIEL HYDRA-RIV

La modélisation hydraulique sera réalisée avec le logiciel HYDRARIV, développé par Hydratec.

HYDRARIV, dont une plaquette de présentation est jointe en annexe 1, est un logiciel général de simulation dynamique des écoulements dans les cours d'eau et les vallées inondables, naturelles et artificielles. Il s'agit d'une application totalement autonome, gérant la génération et l'édition des modèles via une interface graphique dédiée, le pilotage des calculs et l'exploitation des résultats.

HYDRARIV possède une gamme très étendue de fonctionnalités, forgées par l'expérience et les besoins ressentis par HYDRATEC en matière d'aménagements de cours d'eau, qui se traduit notamment par des schémas de représentations qui peuvent être différents d'un secteur géographique à l'autre, tout en coexistant dans un même modèle : représentation filaire ou multifilaire, découpage en casiers, maillages bidimensionnels. Cette souplesse permet d'adapter au mieux la modélisation à la spécificité des configurations rencontrées dans les domaines fluvial et estuarien et aux objectifs de modélisation poursuivis.



Les très nombreuses observations disponibles sur les écoulements de crues dans les vallées inondables témoignent de la grande complexité des phénomènes hydrauliques à l'échelle locale : chenaux

préférentiels d'écoulement induits par la microtopographie, zones d'accumulation, lois d'échanges conditionnées par la topographie, mais aussi les nombreux obstacles implantés dans le lit majeur : tronçons couverts, routes, voies SNCF, levées de terres, remblaiements, gravières, etc. ...

Ces phénomènes ne peuvent être appréhendés que par une démarche simplificatrice mais cependant cohérente par rapport aux objectifs assignés au modèle et aussi à la précision des données disponibles : une schématisation bidimensionnelle ou multifilaire selon les cas. Les différentes schématisations proposées par HYDRARIV reposent sur la résolution des **équations de Barré de Saint Venant**.

La gestion rigoureuse des scénarios de calcul effectuée par HydraRiv assure une traçabilité complète des données d'entrée (bathymétrie, conditions aux limites, ...) et des fichiers de sortie associés accessibles sous forme de tableaux au format ASCII et de graphiques.

HYDRARIV, développé par Hydratec, est commercialisé. Les établissements tels que l'Entente Oise Aisne, la DIREN Centre, le Service de Prévision des crues Oise-Aisne (SNS) et le Syndicat mixte de l'Orge Aval (SIVOA) ont acquis ce logiciel.

Des informations complémentaires sur le logiciel HYDRARIV sont accessibles sur le site internet : www.hydratec-software.com.