

Barrage de Beaulieu

MISSION DE MAITRISE D'OEUVRE

RAPPORT DE LA PHASE PROJET

NOVEMBRE 2018 – VERSION 1

Pierre PARIS
consultant

Projet:	Reconstruction du Barrage de Beaulieu
Titre:	Rapport de la phase projet
Code:	4660135

ARTELIA Eau & Environnement - N°4660135					
1	Première diffusion	IML, JCU, RRN, JAT	GTP	GTP	09/11/2018
Version	**Statut**	**Établi par**	**Contrôlé par**	**Responsable ou Directeur de Mission**	**Date**

SOMMAIRE

1. Contexte et objet du projet 4
2. Rappel des besoins 6
3. Adaptation et evolutions du projet 6
4. Réferences 7
4.1. DOCUMENTS DU PROJET 7
4.2. CADRE REGLEMENTAIRE 7
5. Contenu du dossier 7
6. Etat actuel des ouvrages 8
6.1. ENVIRONNEMENT DE L'OUVRAGE 8
6.1.1. CONTEXTE URBAIN ET SOCIAL 8
6.1.2. INTEGRATION PAYSAGERE 9
6.1.3. CONTEXTE HYDRAULIQUE 9
6.1.4. EXPLOITATION 10
6.1.5. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL 11
6.2. ETAT DE CONNAISSANCE DES EXISTANTS 15
6.2.1. CARACTERISTIQUES DE L'OUVRAGE 15
6.2.2. HISTORIQUE DE L'OUVRAGE 15
7. Donnees de base 17
7.1. CONDITIONS PHYSIQUES 17
7.1.1. HYDROLOGIE 17
7.1.2. GEOLOGIE/GEOTECHNIQUE 21
7.1.3. SISMICITE DU SITE 29
7.2. FONCTIONNALITES 30
7.2.1. GESTION DU PLAN D'EAU 30
7.2.2. NAVIGATION 31
7.3. EXPLOITATION 31
7.3.1. ACCES POUR EXPLOITATION 31
7.3.2. EXPLOITATION DU NOUVEAU BARRAGE 31
7.3.3. EXPLOITATION DU BARRAGE DURANT LA CONSTRUCTION 32
7.4. MAINTENANCE 32
7.4.1. ACCES POUR MAINTENANCE 32
7.4.2. EQUIPEMENTS ET VISITES TECHNIQUES 32

8. Principes techniques retenus 33
8.1. IMPLANTATION DES OUVRAGES 33
8.2. DESCRIPTION 33
8.2.1. PRESENTATION GENERALE 33
8.2.2. BARRAGE 34
8.2.3. OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT PISCICOLE 37
9. Equipements mecaniques 39
9.1. BOUCHURES MOBILES DU BARRAGE 39
9.1.1. PRESENTATION GENERALE 39
9.1.2. TABLIER 41
9.1.3. PALIERS 42
9.1.4. CHASSIS SUPPORT VERINS 43
9.1.5. VERROUS DE CHOMAGE POSITION HAUTE 45
9.1.6. BUTEES D'APPUI EN POSITION BASSE 46
9.1.7. DISPOSITIFS D'ETANCHEITES 46
9.2. ORGANES DE MANŒUVRE DES CLAPETS 47
9.2.1. PRESENTATION GENERALE 47
9.2.2. EQUIPEMENTS DES VERINS 48
9.2.3. ARCHITECTURE ET CENTRALE OLEO-HYDRAULIQUE 49
9.2.4. RACCORDEMENTS HYDRAULIQUES 53
9.3. PASSERELLE DE FRANCHISSEMENT 54
9.3.1. DESCRIPTION GENERALE 54
9.3.2. TRAVEES DE LA PASSERELLE 54
9.3.3. EQUIPEMENT ET ACCES PREVUS EN RIVES POUR UN USAGE TECHNIQUE 57
9.3.4. EQUIPEMENT ET ACCES FUTURS EN RIVES POUR UN USAGE MIXTE 58
9.4. DISPOSITIFS D'ACCES (HORS PASSE A POISSONS) 59
9.4.1. ACCES A LA PILE CENTRALE EST AUX CULEES 59
9.4.2. ACCES A LA TETE DES VERINS 60
9.4.3. ACCES AUX PILES ETROITES 60
9.5. BATARDEAU DE MAINTENANCE 61
9.5.1. PRESENTATION GENERALE DES EQUIPEMENTS DE BATARDAGE 61
9.5.2. BATARDEAU AMONT 62
9.5.3. BATARDEAU AVAL 65
9.5.4. EQUIPEMENTS ADDITIONNELS NECESSAIRES AUX OPERATIONS DE BATARDAGE 67
9.5.5. STOCKAGE DES BATARDEAUX ET MATERIELS DE BATARDAGE 67
9.5.6. EQUIPEMENTS D'AMENE DES MATERIELS A L'AVAL 70
9.6. EQUIPEMENTS DE LA PASSE A POISSONS 72
9.6.1. PRESENTATION GENERALE DES EQUIPEMENTS RETENUS 72
9.6.2. VANNE ASSERVIE AVAL 72
9.6.3. DISPOSITIF DE BATARDAGE AVAL 74
9.6.4. DISPOSITIF DE BATARDAGE/COUPURE AMONT 74
9.6.5. GRILLE GROSSIERE AMONT 75

9.6.6. DEFLECTEUR 76
9.6.7. DISPOSITIF DE COMPTAGE ET/OU CAPTURE 76
9.6.8. DISPOSITIFS D'ACCES A LA PASSERELLE DEPUIS LES RIVES 77

10. Eléctricité /contrôle-commande 78
10.1. ARCHITECTURE ELECTRIQUE 78
10.2. ARMOIRE ELECTRIQUE 79
10.3. INSTRUMENTATION 84
10.3.1. SONDES DE NIVEAUX 84
10.3.2. CAPTEURS ET INDICATEURS DE POSITION 84
10.3.3. DIVERS 85
10.4. EQUIPEMENTS PREVUS 85
10.4.1. BOITIERS DE COMMANDE PORTATIF 85
10.4.2. COFFRETS DE BRANCHEMENT D'EQUIPEMENTS AUXILIAIRES 85
10.4.3. ECLAIRAGE TECHNIQUE 86
10.4.4. GROUPE ELECTROGENE DE SECOURS 86
10.5. ALIMENTATION EN ENERGIE 87
10.5.1. BILAN DE PUISSANCE 87
10.5.2. RACCORDEMENT AU RESEAU ELECTRIQUE 87
10.5.3. CHEMINEMENTS ELECTRIQUES 87
10.5.4. PROTECTIONS CONTRE LA FOUDRE 87
10.6. FONCTIONNEMENT 88
10.6.1. MODES DE COMMANDE PREVUS SUR LES CLAPETS 88
10.6.2. MODES DE COMMANDE PREVUS SUR LA VANNE AVAL DE LA PASSE A POISSONS 89

11. Teleconduite 90
11.1. SYSTEME DE TRANSMISSION DES INFORMATIONS : TELECONDUITE 90
11.1.1. RESEAU DE TELECONDUITE EXISTANT SUR LA PETITE SEINE 90
11.1.2. INTEGRATION DU BARRAGE DE BEAULIEU 91
11.2. CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DES EQUIPEMENTS 93
11.2.1. RESEAUX DIVERS 94
11.3. MODIFICATION DU NOUVEAU POSTE DE CONDUITE CENTRALISE 94

12. Exploitation, surveillance et maintenance 95
12.1. EXPLOITATION DES EQUIPEMENTS 95
12.1.1. MISE EN ŒUVRE DES OPERATIONS DE BATARDAGE 95
12.1.2. EXPLOITATION DES CLAPETS 97
12.1.3. EXPLOITATION DE LA PASSE A POISSONS 97
12.2. PIECES DE RECHANGE 98
12.3. DOCUMENTATION 98
12.4. FORMATION DU PERSONNEL 98

12.5. ZONE D'EMBARQUEMENT RIVE DROITE EN AVAL, POUR L'ENTRETIEN DE L'OUVRAGE 100
12.6. ZONE DE FRANCHISEMENT DES POISSONS ET DE CANOE-KAYAK 100

13. Hydraulique 102
13.1. INTRODUCTION 102
13.2. DIMENSIONNEMENT HYDRAULIQUE DU BARRAGE 102
13.2.1. MODALITES DE GESTION DES CLAPETS 104
13.3. RADIER AVAL DU BARRAGE 106
13.3.1. INTRODUCTION 106
13.3.2. DIMENSIONNEMENT HYDRAULIQUE DU RADIER AVAL 106
13.3.3. ESPACE INTER-BARRAGES 108
13.4. INCIDENCES HYDRAULIQUES DU NOUVEAU BARRAGE EN PHASE EXPLOITATION 109
13.4.1. INCIDENCES HYDRAULIQUES DU NOUVEAU BARRAGE EN PHASE EXPLOITATION 109
13.4.2. IMPACTS DU NOUVEAU BARRAGE SUR LES STATIONS HYDROMETRIQUES 111
13.5. INCIDENCES HYDRAULIQUES DU NOUVEAU BARRAGE EN PHASE TRAVAUX 112
13.5.1. PHASAGE DES TRAVAUX 112
13.5.2. INCIDENCES HYDRAULIQUES EN PHASE TRAVAUX 112

14. Enrochements de protection 116
14.1. FOND AVAL DU NOUVEAU BARRAGE 116
14.1.1. OBJECTIF DES TRAVAUX 116
14.1.2. NATURE DES TRAVAUX 116
14.1.3. CARACTERISTIQUES DE LA PROTECTION 116
14.2. PROTECTION BERGES AVAL RIVE GAUCHE 117

15. Démolition du barrage existant 118

16. Organisation des travaux 119
16.1. CONTRAINTES ET POSSIBILITES 119
16.1.1. HYDRAULIQUE 119
16.1.2. FAUNE / FLORE 119
16.1.3. EMPRISES FONCIERES 120
16.1.4. RESEAUX AERIENS 121
16.1.5. RESEAUX ENTERRES 121
16.1.6. ALIMENTATION EN EAUX 121
16.1.7. CONTRAINTES HYDRAULIQUES EN PERIODE DE CRUE 122
16.1.8. ACCES ROUTIER 123
16.1.9. ACCES FLUVIAL 124
16.1.10. ACCES ET EXPLOITATION DU BARRAGE PENDANT LES TRAVAUX 124
16.2. PRINCIPES POUR LES ACCES ET INSTALLATIONS 126
16.2.1. CONCERNANT LES ACCES ROUTIERS 126

16.2.2. CONCERNANT LES INSTALLATIONS DE CHANTIER 128
16.3. PRINCIPES EN FONCTION DES TYPES DE TRAVAUX 129
16.3.1. BATARDEAU DE CHANTIER 129
16.3.2. APPROVISIONNEMENTS MATERIAUX 129
16.3.3. BETONS 130
16.3.4. CLAPETS 130
16.3.5. PASSERELLE 130
16.3.6. DEMOLITION DU BARRAGE EXISTANT ET POSE D'ENROCHEMENTS 130
16.4. MAINTIEN DE L'EXPLOITATION ET SECURISATION 130
16.5. BILAN 131
17. Phasage des travaux 132
17.1. PHASE 1 – PHASE PREPARATOIRE 132
17.2. PHASE 2 – BARRAGE (PASSES RIVE GAUCHE) 132
17.3. PHASE 3 - BARRAGE (PASSES RIVE DROITE) ET OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT PISSICOLE 132
17.4. PHASE 4 – DEMOLITION DU BARRAGE EXISTANT 133
18. Planning 134
19. Couts 137
19.1. COUT DE CONSTRUCTION 137
19.2. COUT DE MAINTENANCE 147

Tableaux

TABL. 1 - CARACTERISTIQUES DES STATIONS HYDROMETRIQUES DE LA SEINE A PONT-SUR-SEINE ET A BAZOCHES-LES-BRAY 17
TABL. 3 - DEBIT DES CRUES DE REFERENCE DANS LE CADRE DU PPRI 20
TABL. 4 - PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES POUR LES DEUX CAMPAGNES 22
TABL. 5 - LITHOLOGIE DANS LA ZONE D'IMPLANTATION DU BARRAGE 27
TABL. 6 - LITHOLOGIE DANS LA ZONE D'IMPLANTATION DE LA PASSE A POISSONS 27
TABL. 8 - IMPACTS DE LA GEOMETRIE DU NOUVEAU BARRAGE SUR LA LIGNE D'EAU EN AMONT EN CAS DE CRUE CENTENNALE (Q=720 M^3/S) 110
TABL. 9 - IMPACTS SUR LA LIGNE D'EAU EN AMONT EN PHASE TRAVAUX AVEC LE DEBIT DE CHANTIER (PHASE 3) 113
TABL. 10 - COMPARAISON ENTRE LES NIVEAUX D'EAU EN PHASE TRAVAUX ET LA COTE DE VIGILANCE DE CRUE A NOGENT-SUR-SEINE .. 114
TABL. 11 - IMPACTS SUR LA LIGNE D'EAU EN AMONT EN PHASE TRAVAUX AVEC LE DEBIT DE CHANTIER (PHASE 2) 114
TABL. 12 - PERIODES DE SENSIBILITES PAR GROUPES D'ESPECES (ALISEA 2012) 119

Figures

FIG. 1. LOCALISATION DU BARRAGE DE BEAULIEU 4
FIG. 3. VUE EN PLAN DU BARRAGE ACTUEL 5
FIG. 4. PARCELLAIRE AU VOISINAGE DE LA ZONE DE RECONSTRUCTION SUR PHOTOGRAPHIE AERIENNE 8
FIG. 5. PARCELLAIRE AU VOISINAGE DE LA ZONE DE RECONSTRUCTION 9
FIG. 6. EMBARCATION POUR LA MANŒUVRE DES HAUSSES 10
FIG. 7. SCHEMA DU DEPLACEMENT DE L'EMBARCATION LORS DE LA MANŒUVRE DES HAUSSES 11
FIG. 8. ENJEUX ECOLOGIQUES (ALISEA 2015) 12
FIG. 9. PRESENCE D'UN RIDEAU DE PALPLANCHES EN AMONT ET EN AVAL DU PERTUIS 15
FIG. 10. PLANS D'ARCHIVE DU BARRAGE ACTUEL, VUE EN PLAN ET SECTIONS TRANSVERSALES 16
FIG. 11. LOCALISATION DES STATIONS HYDROMETRIQUES DANS LE BASSIN VERSANT DE LA SEINE AMONT 18
FIG. 12. PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES POUR LA CAMPAGNE DU 2018 (EN ROUGE) 24
FIG. 13. PROFIL LITHOLOGIQUE TRANSVERSAL AMONT (SP11 A SP14) – A ENVIRON 30 M DU BARRAGE ACTUEL 25
FIG. 14. PROFIL LONGITUDINAL AMONT / AVAL DANS L'AXE DU BARRAGE 26
FIG. 15. PROFIL LITHOLOGIQUE TRANSVERSAL AVAL (SP6 A SP9) – A XX M DU BARRAGE ACTUEL 26
FIG. 16. ZONAGE SISMIQUE DE LA FRANCE 29
FIG. 17. ÉLEMENTS D'UNE HAUSSE CHANOINE (VNF) 30
FIG. 18. VUE EN PLAN DE L'AMENAGEMENT DU NOUVEAU BARRAGE 34
FIG. 20. PROFIL APRES TRAVAUX DANS L'ALIGNEMENT DEVERSOIR DU BARRAGE EXISTANT 36
FIG. 21. BARRAGE ET PASSERELLE VUE DE L'AMONT 36
FIG. 22. VUE EN PLAN ET PROFIL DE L'OUVRAGE DE FRANCHISSMENT PISCICOLE 38
FIG. 23. ENSEMBLE CLAPET EN COUPE 39
FIG. 24. ENSEMBLE CLAPET EN VUE ISOMETRIQUE 40
FIG. 25. PRINCIPE DU TABLIER UTILISE DIT « A VENTRE DE POISSON » (VNF) 41
FIG. 26. PRINCIPE DU PALIER TYPE « LUBAQUA » 60 TONNES (VNF) 42
FIG. 27. APERÇU DU CHASSIS DOUBLE 44
FIG. 28. APERÇU DU VERROU DE CHOMAGE 45
FIG. 29. PRINCIPE D'ETANCHEITE LATERALE (A GAUCHE) ET DE SEUIL (A DROITE) 46
FIG. 30. APERÇU D'UN CAPTEUR LVDT (BALLUF) 48
FIG. 31. SCHEMA TYPE SIMPLIFIE (EXTRAIT NORME DIN 19704) 49
FIG. 32. EXEMPLE D'UNE CENTRALE SIMILAIRE (IMAGE SPRETEC) 51
FIG. 34. EXEMPLE DE SUPPORTAGE AU NIVEAU D'UNE CULEE (IMAGE SPRETEC) 53
FIG. 35. BARRAGE ET PASSERELLE VUE DE L'AMONT 54
FIG. 36. TRAVEE TYPE SUR UNE PASSE DU BARRAGE 55
FIG. 37. SECTION TYPE DE CHAQUE TRAVEE 55
FIG. 38. APPAREILS D'APPUI ET ZONE DE VERINNAGE 56
FIG. 39. ISOSTATISME DE CHAQUE TRAVEE 56
FIG. 40. PLATELAGE ET PASSAGE DES RESEAUX 57
FIG. 41. PORTILLONS D'ACCES SUR DIFFERENTES PILES 57
FIG. 42. PLATEFORME EN RD ET ESCALIER 58
FIG. 43. RAMPES D'ACCES A LA PASSERELLE EN RIVE GAUCHE ET RIVES DROITES 59
FIG. 44. 59
FIG. 45. PORTILLONS D'ACCES SUR LA PILE CENTRALE ET LES CULEES 60
FIG. 46. PORTILLONS D'ACCES SUR LES PILES ETROITES, A L'AMONT ET A L'AVAL 61
FIG. 47. PASSE BATARDEE – VUE EN COUPE 62

FIG. 48. SYSTEME DE BATARDAGE AVEC POUTRE FLOTTANTE ET AIGUILLES 62
FIG. 49. RIDEAU D'AIGUILLES DEPUIS L'AMONT 63
FIG. 50. POUTRE FLOTTANTE SEULE 64
FIG. 51. ENGRAVURES SUR LES PILES AMONT 64
FIG. 52. EXEMPLE DE BATARDEAU SIMILAIRE TEL QUE PREVU A L'AVAL 66
FIG. 53. POSSIBILITE DE STOCKAGE DES POTELETS ET DES POUTRELLES DU PROJET 68
FIG. 54. STOCKAGE DE LA POUTRE FLOTTANTE HORS D'EAU ET MOYENS DE MANUTENTION ASSOCIES 68
FIG. 55. EXEMPLES DE MOYENS DE MANUTENTION MANUELS POUR LA CHARGE REQUISE (IMAGES TRACTEL ET VERLINDE) 69
FIG. 56. LOCALISATION DE LA VANNE AVAL TELLE QUE PREVU 73
FIG. 57. EXEMPLES DE FOURNITURE STANDARDISEE POUR LA VANNE AVAL TELLE QUE PREVU (IMAGE RAMUS ET ORBINOX) 73
FIG. 58. APERÇU DU BATARDEAU DE LA VANNE AVAL 74
FIG. 59. VANNES AMONT SERVANT A LA COUPURE 75
FIG. 60. EXEMPLE DE NASSE INSTALLEE EN SORTIE DE PASSE 76
FIG. 61. APERÇU DE L'ARMOIRE ELECTRIQUE TEL QUE PREVU AU PROJET 79
FIG. 62. ARCHITECTURE CONTROLE-COMMANDE AVEC RESEAU TELECONDUITE 83
FIG. 63. SELECTION DES MODES DE MARCHE 89
FIG. 64. SCHEMA DU RESEAU TEL QUE PREVU DANS LE PROJET DE TELECONDUITE (EXTRAIT CCTP TELECONDUITE) 90
FIG. 65. CARTE ILLUSTRANT LES LOCALISATIONS DES 2 SITES A CONNECTER (IGN®) 91
FIG. 66. SCHEMA DE PRINCIPE DE LA SOLUTION PAR FAISCEAU HERTZIEN 92
FIG. 67. EXEMPLE DU PYLONE DE TELECONDUITE MIS EN PLACE SUR L'ECLUSE DE BEAULIEU 93
FIG. 68. EXEMPLE DE MISE EN ŒUVRE D'UN BATARDEAU SIMILAIRE (IMAGE SPRETEC) 96
FIG. 69. EMBARCADERE POUR ENTRETIEN DU BARRAGE 100
FIG. 70. EMBARCADERES A CANOË-KAYAK 101
FIG. 71. RESULTAT DE SIMULATION DU MODELE 2D - ETAT PROJET (CRUE DE PREMIER DEBORDEMENT Q = 160 M^3/S) 102
FIG. 72. LOCALISATION DES POINTS D'OBSERVATION DE NIVEAUX D'EAU (POINTS ROUGES) 103
FIG. 73. EXEMPLE DE LOI Z/Q EN AMONT D'UN BARRAGE DE NAVIGATION 104
FIG. 74. EXEMPLE DE LOI D'ABAISSEMENT DES CLAPETS D'UN BARRAGE DE NAVIGATION 105
FIG. 75. SCHEMATISATION DE LA GESTION DES CLAPETS TENANT COMPTE DE LA PROXIMITE DE LA PASSE A POISSONS 105
FIG. 76. CARACTERISTIQUES DES ECOULEMENTS EN AVAL RADIER DU NOUVEAU BARRAGE 107
FIG. 77. COUPE DU RADIER AVAL DU BARRAGE ILLUSTRANT LA LONGUEUR DE LA CUVETTE 108
FIG. 78. RESULTAT DE SIMULATION DU MODELE 2D - ETAT PROJET (CRUE CENTENNALE Q = 720 M^3/S) 110
FIG. 79. RESULTAT DE SIMULATION DU MODELE 2D – PHASE 2 TRAVAUX (Q = 120 M^3/S) 113
FIG. 80. RESULTAT DE SIMULATION DU MODELE 2D – PHASE 3 DE TRAVAUX (Q = 120 M^3/S) 115
FIG. 81. ZONES DE DECONSTRUCTION 118
FIG. 82. ENJEUX ECOLOGIQUES ET ZONES A PRIVILEGIER POUR LES INSTALLATIONS DE CHANTIER (ALISEA 2015, FOND BING AERIAL) 120
FIG. 83. CADASTRE DE LA ZONE DE BEAULIEU 121
FIG. 84. LOCALISATION DES CAPTAGES AEP 122
FIG. 85. PONT DES ESSARTS SUR LA RUE DE BEAULIEU 123
FIG. 86. PISTE D'ACCES RG + LES 2 PONTS 124
FIG. 87. PONTON D'EXPLOITATION 125
FIG. 88. CABLE PARE BATEAUX ET DE GUIDAGE DE L'EMBARCATION 125
FIG. 89. RUE DU PRIEURE (BEAULIEU) 126
FIG. 90. ACCES ROUTIER AU CHANTIER 127
FIG. 91. ZONE DE STOCKAGE RIVE DROITE CANAL DE BEAULIEU (A L'AVAL IMMEDIAT DE LA CULEE RD DU PONT) 128
FIG. 92. LOCALISATION ET ENTREE DU SITE D'EXPLOITATION CEMEX 129
FIG. 93. PLANNING TRAVAUX – SAISON 1 134

FIG. 94. PLANNING TRAVAUX – SAISON 2 135
FIG. 95. PLANNING TRAVAUX – SAISON 3 136

1. CONTEXTE ET OBJET DU PROJET

Ce document est relatif à la reconstruction du barrage de Beaulieu. Le barrage est situé dans le département de l'Aube sur la rivière Seine, non loin de Nogent sur Seine. Il s'agit d'un barrage datant de 1864 permettant de gérer un niveau d'eau amont, en toute période, afin d'assurer un mouillage minimum pour la navigation dans le canal de dérivation de Beaulieu à Villers ainsi que le Port céréalier de Nogent sur Seine.



Fig. 1. Localisation du barrage de Beaulieu

La section amont et aval du barrage n'est plus naviguée depuis que le canal de dérivation et l'écluse de Beaulieu sont en service. La distance « fluviale » entre l'écluse et le barrage est d'environ 2.5 km.

L'ouvrage actuel est un barrage maçonné, mobile constitué d'un déversoir à hausses Pasqueau et d'un pertuis navigable obturé par des hausses Chanoine. La largeur hydraulique du barrage est de 35 m pour le pertuis et de 50 m pour le déversoir. La chute amont / aval est de 1.80 m en retenue normale.

Ce barrage est entièrement manœuvré manuellement.

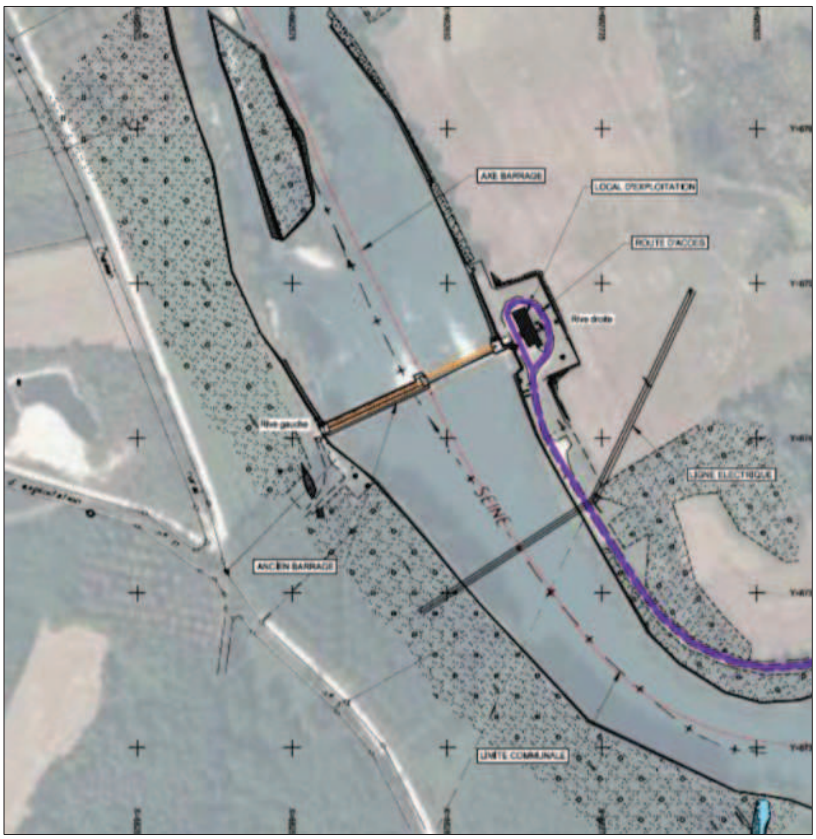


Fig. 2. Vue en plan du barrage actuel

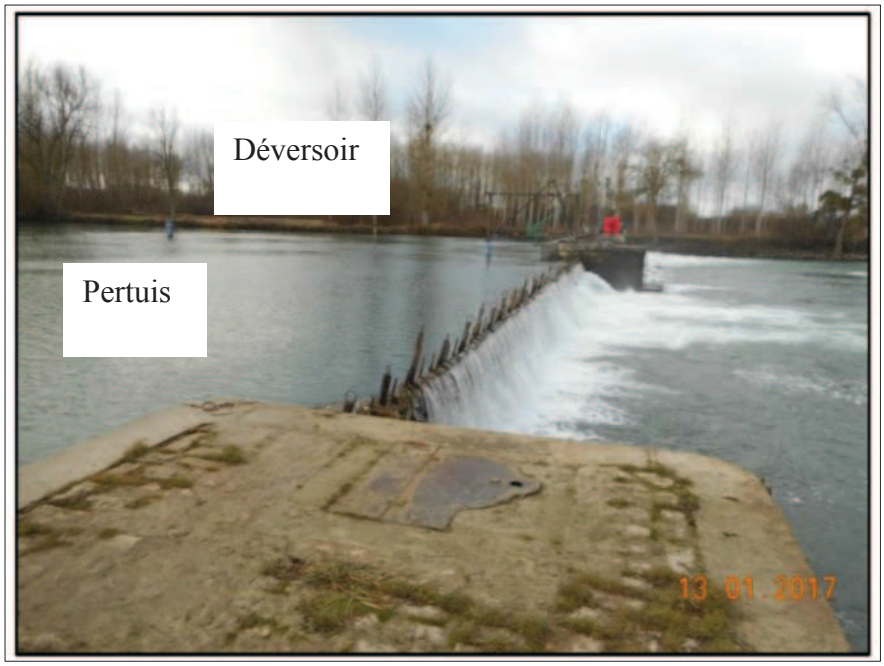


Fig. 3. Vue en plan du barrage actuel

2. RAPPEL DES BESOINS

Ce barrage en état très vieillissant doit être reconstruit et modernisé. Les grandes composantes du programme de reconstruction sont :

- La création d'un nouveau barrage mécanisé en remplacement de l'existant,
- La mise en place d'un ouvrage de franchissement piscicole du nouveau barrage,
- La possibilité de franchissement du barrage par une passerelle publique d'une rive à l'autre,
- La téléconduite du barrage à partir du Poste de Commande Centralisé de Mouy-sur-Seine.

Lors des études préliminaires plusieurs solutions de reconstruction et de technologie de bouchures ont été proposées concernant le barrage : reconstruction en lieu et place, en amont, en aval, utilisation de vannes clapets, de bouchures gonflables, plusieurs configurations de passerelles, et deux solutions d'ouvrage de franchissement piscicole. Le choix final s'est porté sur une reconstruction du barrage en amont, utilisant la technologie de **vannes clapets** manœuvrés par des vérins. Cette reconstruction en amont a été priorisée pour une raison économique et une meilleure maîtrise des aléas en phase travaux.

Le recours à des vannes clapets et des vérins a été opté dans un souci d'homogénéisation avec l'exploitation et la maintenance des autres barrages des exploitants.

Concernant le franchissement piscicole, une **passe à poissons à fentes verticales** a été retenue.

3. ADAPTATION ET EVOLUTIONS DU PROJET

Au stade projet, les principales évolutions sont les suivantes :

- Le radier a été baissé de 10 cm, afin d'obtenir un angle des clapets en position affalé de 3° et rester dans les recommandations du CETMEF.
- La largeur utile retenue pour la passerelle est de 1.60m. Il s'agit d'une passerelle technique dans une première phase, avec possibilité d'accueillir une passerelle mixte à l'avenir, accessible aux PMR. Elle a été rehaussée de 50 cm par rapport à celle proposé dans l'AVP, pour éviter des problèmes d'embâcles. Elle a également été décalée de la passe à poissons pour permettre l'accès aux véhicules d'entretien.
- L'ordre de phasage de travaux sera inversé afin de permettre la gestion du barrage avec les moyens actuels, bateau + câbles, le plus longtemps possible, ainsi que pour aborder d'abord la moitié de l'ouvrage la plus simple (car il n'y a pas de PAP en rive gauche). L'ordre sera donc de gauche à droite, dans le sens du courant.
- La continuité canoë-kayak sera garantie en rive gauche, à travers d'une rampe d'accès à l'eau en amont et une autre en aval du barrage, à 150 et 80 m respectivement.
- L'accès routière en rive droite est à éviter, en raison de travaux de confortement à réaliser sur le chemin d'accès, de la capacité structurelle du pont (30 tons max) et du fort enjeu écologique (zone rouge).
- Le câble pare bateau est définitivement supprimé.

4. REFERENCES

4.1. DOCUMENTS DU PROJET

- L'ensemble de documents fournis lors de l'AVP
- Etude de sol préliminaire G11 n°2008/0286/AUXER, GEOTEC, 11 aout 2008
- Etude de sol AVP G2 n°15/02753/AUXER indice A, GEOTEC, 27 novembre 2015
- Etude géotechnique de conception phase projet (G2-PRO), indice A

4.2. CADRE REGLEMENTAIRE

- Recommandations pour le calcul des ouvrages maritimes aux états limites édités par le CETMEF CD ROM ROSA 2000
- Notices techniques du CETMEF
- Eurocodes

5. CONTENU DU DOSSIER

Le dossier d'étude Pro comprend les pièces suivantes :

- Le présent rapport,
- L'annexe 1 : génie civil et batardeau de chantier
- L'annexe 2 : micro-pieux du barrage,
- L'annexe 3 : micro-pieux de la passe à poissons,
- L'annexe 4 : fondation des rampes de la passerelle,
- L'annexe 5 : clapets et vérins,
- L'annexe 6 : passerelle,
- L'annexe 7 : batardeau de maintenance,
- L'annexe 8 : synoptique des réseaux,
- L'annexe 9 : bilan de puissance,
- L'annexe 10 : notice architecturale,
- L'annexe 11 : plans du projet

6. ETAT ACTUEL DES OUVRAGES

6.1. ENVIRONNEMENT DE L'OUVRAGE

6.1.1. Contexte urbain et social

Le barrage est construit « à cheval » sur les communes de la Motte-Tilly (en rive gauche) et du Mériot (en rive droite). Les emprises parcellaires appartenant à VNF sont très limitées à proximité du barrage. Seule la parcelle D 1790 en rive droite appartient à VNF. Celle la jouxtant (D 1789) est la propriété du centre des monuments nationaux. Le chemin d'accès en berge le long de la Seine à la parcelle de VNF se situe sur le domaine du centre des monuments nationaux.

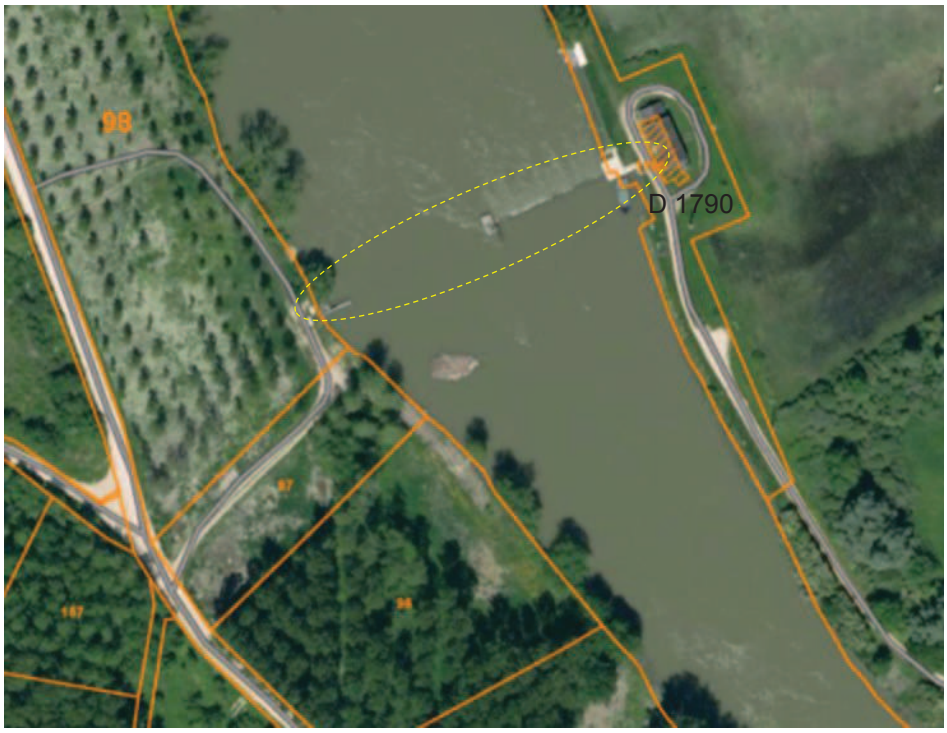


Fig. 4. Parcellaire au voisinage de la zone de reconstruction sur photographie aérienne

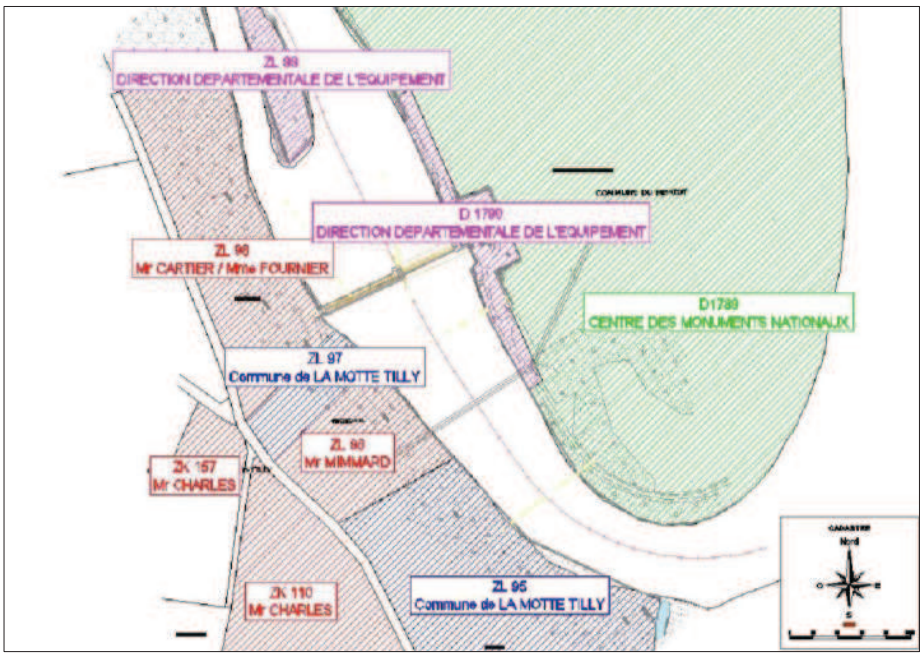


Fig. 5. Parcellaire au voisinage de la zone de reconstruction

En rive gauche, VNF ne dispose pas d'emprise. L'accès au barrage par cette rive est possible par la parcelle ZL 97 appartenant à la commune de la Motte-Tilly. Les parcelles amont et aval encadrant celle communale appartiennent à des propriétaires privés.
La rive gauche se caractérise par un couvert végétal plus remarquable qu'en rive droite avec des zones boisées à dominante de peupliers.

Une ligne de moyenne tension RTE se situe à environ 100 m en amont du barrage. Un ilot se situe à environ 100 m en aval du barrage

6.1.2. Intégration paysagère

Le barrage ne se situe pas dans un site inscrit ou classé. Seul le château de la Motte-Tilly est classé. Il se situe à 3.5 km au sud-ouest du barrage, et ne se trouve pas en co-visibilité.

Le paysage s'organise en une série de strates et d'horizontales, seul les pylônes à hautes tension expriment la dimension verticale. Il n'offre pas véritablement de point d'accroche visuel et la découverte panoramique de l'amplitude de ce site révèle le caractère incongru et décalé de la maison « éclusière », seul élément bâti et donc seul référence d'échelle. L'œil est attiré par le remous du rideau de la chute d'eau du barrage qui dessine l'axe qui sépare transversalement la Seine en reliant les deux rives. L'ouvrage actuel est discret et semble délicat par rapport aux surfaces liquides qu'il sépare.

6.1.3. Contexte hydraulique

La reconstruction du nouveau barrage doit s'effectuer de manière à ce que sa capacité hydraulique soit sensiblement équivalente à celle du barrage actuel sans occasionner d'impact préjudiciable sur la ligne d'eau amont.
Le calage altimétrique du radier du nouveau barrage ainsi que la redéfinition de sa largeur hydraulique doivent être définis dans ce sens. Sa reconstruction à l'amont du barrage actuel offre la possibilité de réduire la largeur du barrage (de rive à rive) moyennant un niveau de radier plus bas que celui existant.

Les côtes du radier du barrage existant sont les suivantes :

- 58.10 m IGN69 pour le pertuis (passe rive droite),
- 59.37 m IGN69 pour le déversoir (passe rive gauche).

A noter que l'arase du parafouille amont du radier du déversoir est calé à 59.16 m IGN69 et celle du pertuis à 58.02 m IGN 69.

La côte du fond de la Seine varie entre 60 m et 58 m IGN69 sur une distance de 30 m en amont du barrage, puis entre 58 et 57.8 m IGN69 sur une distance 60 m (jusqu'à la ligne électrique EDF).

En amont du barrage la crête de berge est de l'ordre de :

- 61.10 m IGN 69 en rive droite,
- 61.20 m IGN 69 en rive gauche.

Le niveau de la retenue normale d'eau est de 60.60 m IGN69.

6.1.4. Exploitation

L'exploitation du barrage actuel nécessite de l'utilisation d'une embarcation à l'amont immédiat du barrage pour la manœuvre des hausses.



Fig. 6. Embarcation pour la manœuvre des hausses

Cette embarcation est stationnée en berge rive droite en amont immédiat de la culée dans le creux disponible à cet effet. Elle mesure 11 m de long par 3.50 m de large. Elle se déplace au moyen de deux câbles fixés en amont du barrage, comme illustré ci-dessous :



Fig. 7. Schéma du déplacement de l'embarcation lors de la manœuvre des hausses

L'affalement des hausses du pertuis est commandé par un mécanisme actionné manuellement depuis la culée rive droite et la pile intermédiaire. Ce mécanisme permet le débéquillage des hausses. Le déversoir est manœuvré à travers d'un treuil manuel se déplaçant sur la passerelle amont.

6.1.5. Contexte environnemental

6.1.5.1. CONTINUITE ECOLOGIQUE PISCICOLE

Dans la zone de projet, la Seine appartient au niveau théorique B7 à B8 (groupement à barbeau, épipotamon à mésopotamon). Les poissons d'eaux vives, comme le barbeau fluviatile, la vandoise, le spirlin, le goujon ou le chevesne occupent naturellement une place centrale (B7), avec marginalisation par rapport aux niveaux plus apicaux des espèces de la zone à truites, tandis qu'apparaissent les poissons typiques des eaux plutôt lentes et chaudes, comme le brochet, le gardon, la perche, la bouvière ou l'ablette qui tendent ensuite (B8) à dominer le peuplement. **Ce niveau typologique correspond à une diversité ichtyologique maximale.**

6.1.5.2. MILIEUX REMARQUABLES

Le diagnostic complémentaire de l'état initial environnemental réalisé en 2015 met en évidence le caractère fort des intérêts écologiques du site.

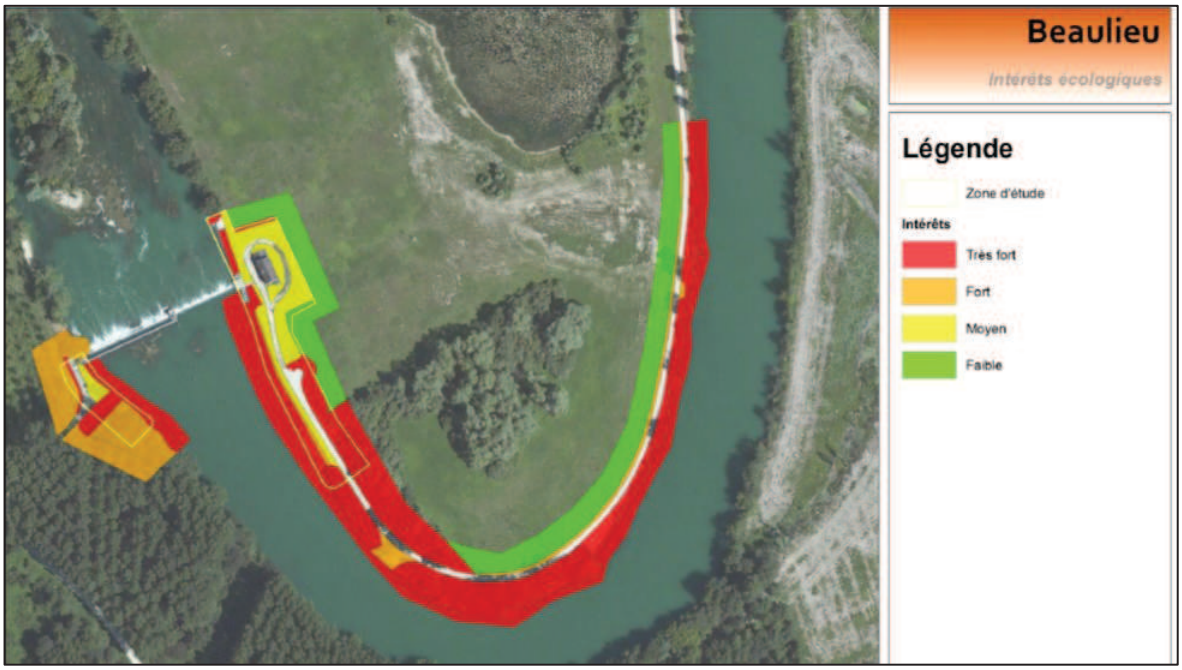


Fig. 8. Enjeux écologiques (Aliséa 2015)

D'ailleurs ses intérêts écologiques sont d'autant plus renforcés par les différents enjeux environnementaux du secteur :

- Trois sites Natura 2000 sont recensés à proximité immédiate du barrage dans un rayon de 3 km, et dont un est limitrophe au site,
- La réserve nationale de La Bassée se situe à 10 km,
- Plusieurs ZNIEFF (Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique) dans un rayon de 15 km dont une jouxte le site du barrage,
- Le site fait partie de la ZICO (Zone Importante pour la Conservation des Oiseaux) de la Bassée et des plaines adjacentes.

De plus, la zone du barrage peut être considérée comme importante pour la conservation de la biodiversité dans le cadre du Schéma Régional de Cohérence Ecologique de la région Champagne-Ardennes.

Les inventaires réalisés par Aliséa au printemps et été 2015 ont été effectués sur les habitats et la flore, les mammifères terrestres, les chiroptères, l'avifaune nicheuse, les amphibiens, les insectes et les reptiles. Les synthèses des enjeux liées aux inventaires effectués sont présentées ci-après.

Enjeux flore et habitats (Aliséa 2015) :

Avec 3 habitats remarquables, 161 espèces (dont 12 remarquables), sur une zone d'étude dont la surface est relativement réduite, les enjeux en termes d'habitats naturels et de flore apparaissent comme très forts.

Les enjeux se concentrent sur les habitats aquatiques et herbacés hygrophiles.

Enjeux avifaune nicheuse (Aliséa 2015) :

Avec 59 espèces recensées, dont 14 peuvent être considérées comme remarquables, les intérêts avifaunistiques apparaissent comme très forts. Ils sont liés au contexte écologique local (une vaste plaine inondable appelée « la Bassée », reconnue comme l'une des 152 zones humides d'importance nationale en raison de son patrimoine naturel exceptionnel). Aucune espèce remarquable n'a été contactée dans la zone d'étude stricte. Les enjeux se concentrent aux alentours de la zone d'étude, à l'intérieur de la bouche de la Seine, dans les espaces ouverts, les plans d'eau et boisements, et sur la Seine.

Enjeux mammifères terrestres (Aliséa 2015) :

Les enjeux en termes de présence de mammifères terrestres apparaissent comme faibles. Il faut toutefois noter la présence potentielle d'espèces remarquables comme la Loutre ou encore le Castor dans les alentours de la zone d'étude (données bibliographiques).

Enjeux chiroptères (Aliséa 2015) :

Au regard des habitats en présence, la diversité chiroptérologique est assez faible. Toutefois, avec la présence de 4 espèces, toutes remarquables, les enjeux apparaissent comme forts. Ils sont essentielles liés à la présence de chiroptères en chasse et en transit le long des linéaires boisés, et au-dessus des masses d'eau et des espaces ouverts.

Enjeux amphibiens (Aliséa 2015) :

Au regard des habitats en présence, la diversité d'Amphibiens est assez faible. Les enjeux semblent faibles, mais restent à relativiser en raison d'un démarrage tardif de l'étude qui ne garantit pas un inventaire exhaustif des espèces.

Dans la zone d'étude stricte, en l'absence de mares, les secteurs de végétation aquatique de la Seine sont les seuls secteurs en partie favorables aux Amphibiens, et principalement aux Grenouilles vertes et rieuses (la majeure partie des amphibiens recherche des eaux sans courant).

Enjeux reptiles (Aliséa 2015) :

Au regard des habitats en présence, la diversité de Reptiles est assez faible. Toutefois avec la présence de 2 espèces, toutes remarquables, les enjeux apparaissent comme moyens. Ils sont essentiellement liés à la présence de milieux humides, pour la Couleuvre à collier, et de milieux secs (chemin d'accès caillouteux autours de la bâtisse) pour le Lézard des murailles.

Enjeux insects (Aliséa 2015) :

Avec 35 espèces d'insectes recensées, dont 8 qui peuvent être considérées comme remarquables, les enjeux entomologiques apparaissent comme forts. Ils sont essentiellement liés à la diversité des milieux en présence : milieux humides, milieux secs, végétation herbacée, végétation aquatique.

L'absence de relevés tardifs (fin août/début septembre) ne permet pas d'évaluer les intérêts du site pour les orthoptères.

6.1.5.3. CAPTAGES AEP ET PRISES D'EAU

A proximité du barrage, seul un captage d'AEP (Alimentation Eau Potable) de la Motte Tilly se situe à environ 500 m en amont en rive gauche au niveau du lieu-dit « La Lizonnière ». Il s'agit d'un forage de 20 m crépiné sur 14m. Le périmètre de protection rapproché s'étend jusqu'à 200 m de la berge. Le périmètre de protection éloigné intercepte des parcelles proches du barrage.
D'après l'arrêté 97-3109 A, les parcelles ZL 96, 97 et 98 de la rive gauche à proximité immédiate du barrage ne sont pas comprises dans le périmètre éloigné. Par contre les parcelles ZL8 et ZL9 font parties de ce périmètre. Les activités sur ces parcelles, même provisoires sont réglementées.

Une prise d'eau de la commune de la Motte-Tilly se situe à 270 m en amont du barrage en rive gauche. Celle-ci sert actuellement à l'alimentation du plan d'eau du château de la Motte-Tilly.

6.1.5.4. ELECTRICITE

Les équipements électriques du barrage actuel sont limités à l'alimentation de l'ancien bâtiment de stockage en rive droite et à l'éclairage du site.

D'après l'exploitation, la puissance disponible serait de 16 kVa. Aucune alimentation électrique n'est disponible en rive gauche du barrage.

6.2. ETAT DE CONNAISSANCE DES EXISTANTS

6.2.1. Caractéristiques de l'ouvrage

L'ouvrage actuel est un barrage maçonné, mobile constitué d'un déversoir à hausses Pasqueau et d'un pertuis navigable obturé par des hausses Chanoine. La largeur hydraulique du barrage est de 35 m pour le pertuis et de 50 m pour le déversoir. La chute amont / aval est de 1.80 m en retenue normale.

Un rideau de palplanches métalliques en amont et en aval du pertuis a été repéré par Techsub, lors de son inspection subaquatique en 2005. Ci-dessous son positionnement de manière approximative :

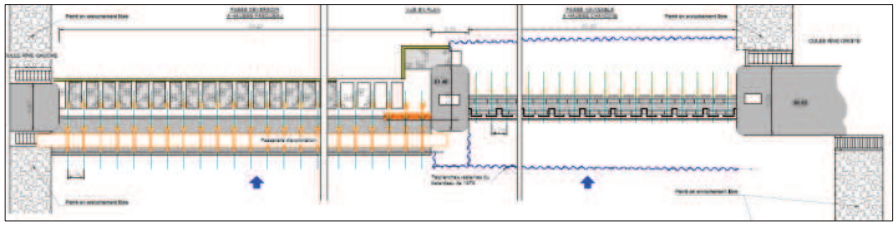


Fig. 9. Présence d'un rideau de palplanches en amont et en aval du pertuis

6.2.2. Historique de l'ouvrage

6.2.2.1. TRAVAUX REALISEES

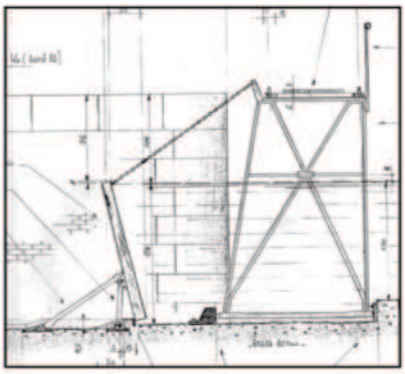
Nous n'avons pas connaissance à ce jour des travaux qui auraient été réalisés depuis la construction de l'ouvrage actuel.

6.2.2.2. PLANS D'ARCHIVE

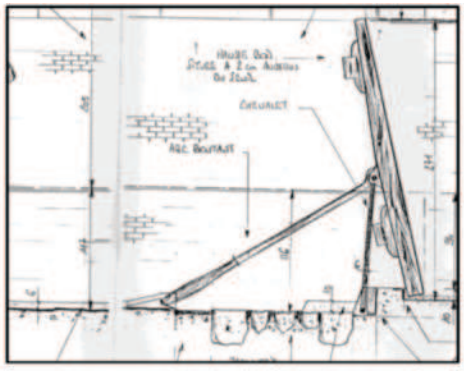
Hormis les informations de ces plans d'archives et de l'inspection de diagnostic de l'état du barrage réalisée par Techsub de 2005, ces données sont insuffisantes et imprécises dans le cadre du projet.

La déconstruction du barrage existant (arasement partiel du radier, démolition de la pile, des culées, et des perrés amont / aval), la réalisation des protections de berge aval du nouveau, barrage, la construction de l'ouvrage de franchissement piscicole, et la protection du fond aval du nouveau barrage, nécessitent que les existants soient parfaitement reconnus, tant dans leur localisation que dans leur constitution, mais aussi sur la possibilité d'existence de structures enfouies ou de vestiges.

Un diagnostic de reconnaissance des ouvrages existants du barrage et de l'environnement immédiat du barrage sera à réaliser. L'ouvrage n'est pourvu d'aucun équipement électrique.



Hausse Pasqueau



Hausse Chanoine

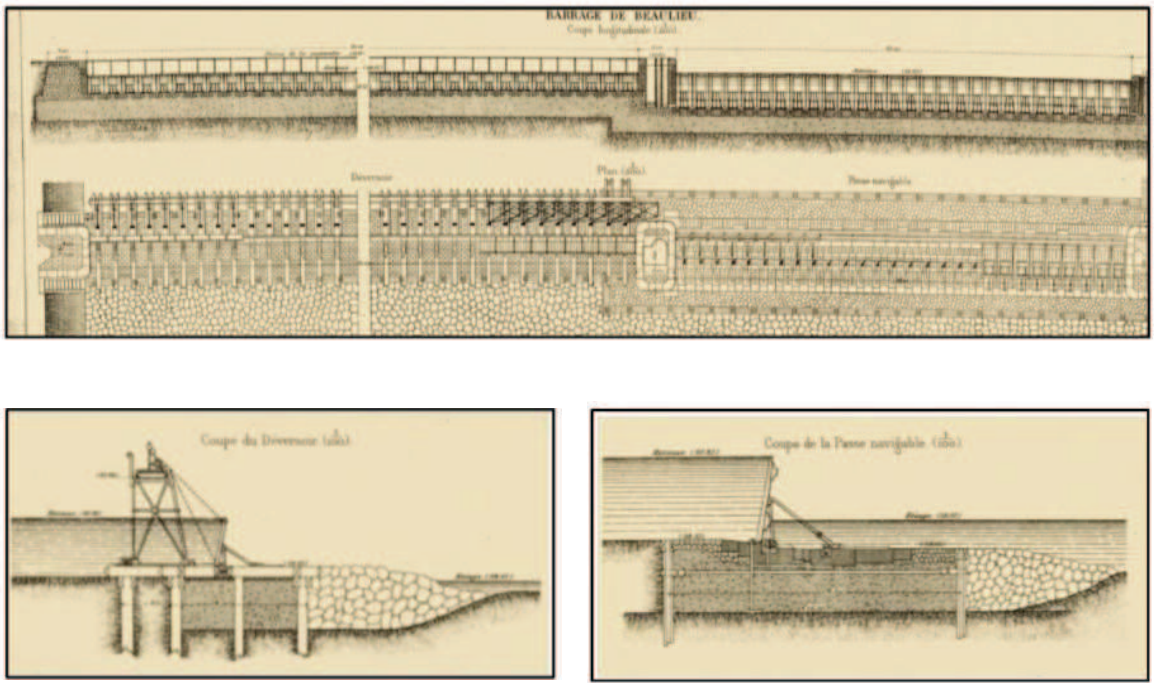


Fig. 10. Plans d'archive du barrage actuel, vue en plan et sections transversales

7. DONNEES DE BASE

7.1. CONDITIONS PHYSIQUES

7.1.1. Hydrologie

7.1.1.1. STATION HYDROMETRIQUE RETENUE

Les stations hydrométriques les plus proches du barrage de Beaulieu sont :

- La station de Pont-sur-Seine située 15 km à l'amont de Nogent-sur-Seine ;
- La station de Bazoches-les-Bray située à 36 km à l'aval de Nogent-sur-Seine.
- Les caractéristiques de ces deux stations sont présentées dans le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**ci-après.

Code	Localisation	Cours d'eau	Superficie (km2)	Type	Débits disponibles	Gestionnaire
H1700010	Pont-sur-Seine	Seine	8 760	Échelle limnimétrique	1979-2018	DREAL Champagne-Ardenne
H1940020	Bazoches-les-Bray	Seine	10 100	Station à ultrason	1999-2018	DRIEE Ile-de-France

Tabl. 1 - Caractéristiques des stations hydrométriques de la Seine à Pont-sur-Seine et à Bazoches-les-Bray



Fig. 11. Localisation des stations hydrométriques dans le bassin versant de la Seine amont

Dans le secteur d'étude, différents affluents peuvent être identifiés, dont les plus importants sont l'Ardusson en rive gauche au droit de Nogent-sur-Seine et la Voulzie en rive droite au niveau de Bray-sur-Seine.

Le débit moyen de l'Ardusson et de la Voulzie est respectivement de 0,7 m^3/s, et 1,69 m^3/s (Source: Banque Hydro). La contribution en débit de ces affluents étant très faible lors d'une crue de la Seine, ces affluents seront donc négligés dans la suite de l'étude.

La station de Pont-sur-Seine est la plus proche de la zone d'étude (15 km à l'amont), la superficie du bassin versant est de 8760 km^2, proche de celle du bassin versant de la zone d'étude (9100 km^2). La station de Pont-sur-Seine possède la chronique de données la plus longue. De plus, la Seine n'intercepte pas d'affluent significatif entre la station de Pont-sur-Seine et la zone d'étude. Par conséquent, les données hydrométriques de la station de Pont-sur-Seine ont été retenues pour l'étude hydraulique. Ces données sont présentées dans le rapport d'étude AVP.

7.1.1.2. STATION DE NOGENT-SUR-SEINE

La station de Nogent-sur-Seine est située au niveau du pont de Nogent, à l'aval du déversoir de la ville. C'est une station de mesure des hauteurs d'eau en cas de crue. La cote de zéro d'échelle de cette station est située à l'attitude 59,60 m NGF.

Le tableau suivant présente les cotes caractéristiques de la Seine à la station de Nogent-sur-Seine.

	Retenue normale	Vigilance de crue	Alerte de crue
Cote m NGF	60,66	61,80	62,1

Tabl. 2 - Cotes caractéristiques de la Seine à Nogent-sur-Seine (Source: Étude hydraulique préalable pour l'aménagement de la zone portuaire de Nogent sur Seine et de la plateforme trimodale CG, 2005)

7.1.1.3. DEBITS DE CRUE

7.1.1.3.1. **Crue de premier débordement**

Le dimensionnement du nouveau barrage de Beaulieu nécessite la connaissance du débit capable du lit mineur de la Seine.

Le diagnostic environnemental de janvier 2009, annexé au dossier de consultation, mentionne que le barrage actuel est abattu à partir d'un débit de 120 m3/s et qu'il y a débordement à partir d'un débit de 160 à 170 m3/s. Ces dernières valeurs sont confirmées par l'étude « Aménagement des vallées de l'Aube et de la Seine » de 1983 qui indique que le lit mineur de la Seine admet un débit de premier débordement de l'ordre de 160 m3/s à l'aval de Nogent-sur-Seine.

Au regard du module et des débits caractéristiques de crue des stations hydrométriques encadrant la zone d'étude, un débit de 160 m^3/s est associé à une période de retour de **1 à 2 ans**.

7.1.1.3.2. **Crue centennale**

Le débit de la crue centennale (Q100) n'est pas disponible sur la Banque Hydro. Une analyse bibliographique a été effectuée par BURGEAP dans le cadre de l'étude hydraulique pour l'aménagement de la zone d'activité tri-modale à l'aval de Nogent-sur-Seine (2005).

Cette étude mentionne des valeurs de débit centennal à Nogent-sur-Seine comprises entre 684 m^3/s (débit écrêté par les lacs-réservoirs amont) et 720 m^3/s (débit naturel non écrêté).

Ces deux valeurs de débit ont été proposées comme débits de référence dans l'étude hydraulique préalable à l'élaboration du Plan de prévention des risques d'inondation (PPRi) sur le bassin de la Seine aval (Safege, 2001). Cette étude a été réalisée pour l'établissement du PPRi sur le bassin de la Seine aval (dans le département de l'Aube), le secteur d'étude s'étend de Savières à Courceroy.

Crue	Débits (m3/s)
Crue de référence	684
Crue centennale naturelle ou débit sécuritaire	720
Crue centennale écrêtée	684
Crue de 1955	625

Tabl. 3 - Débit des crues de référence dans le cadre du PPRi

Suite à la programmation d'une révision générale des PPRi dans les départements de l'Aube et de la Marne, une nouvelle étude hydrologique a été réalisée par ANTEA GROUP en mars 2012. Les débits de pointe pour les crues de 1983 et de 1910 avec et sans prise en compte des lacs-réservoirs ont été présentés. Ces débits correspondent aux débits calculés via une modélisation en utilisant le logiciel Mike11. Cependant, le débit centennal à la station de Nogent-sur-Seine n'a pas été calculé lors de cette étude.

Par sécurité, il est donc proposé de retenir la plus forte valeur de 720 m^3/s à Nogent-sur-Seine pour la présente étude. Ce débit correspond à une crue naturelle non écrêtée par les lacs-réservoirs.

7.1.2. Géologie/Géotechnique

7.1.2.1. RECONNAISSANCES ET ESSAIS

7.1.2.1.1. **Campagne en 2008**

La campagne de reconnaissance réalisée par GEOTEC en 2008 a consisté en l'exécution, en milieu fluvial, de :

- 10 sondages destructifs avec essais pressiométriques tous les 1,5 m (SP1 à SP10) jusqu'à 20 à 30 m sous le terrain actuel (T.A.),
- 4 sondages carottés (SC1, SC2, SC8 et SC9) jusqu'à 20 m sous le terrain actuel (T.A.).

Des classements GTR ont été réalisés sur les échantillons carottés.

7.1.2.1.2. **Campagne en 2015**

La campagne de reconnaissance réalisée par GEOTEC en 2015 a consisté en l'exécution, depuis la berge et en milieu fluvial, de :

Depuis la berge :

- 3 sondages carottés (SC3, SC6 et SC7) à 18.00 m de profondeur.
- 2 piézomètres (Pz6 et Pz7) qui ont été disposés dans les sondages carottés SC6 et SC7 précédents.
- 4 sondages pressiométriques (SP11, SP14, SP15 et SP16) à 18.00 m de profondeur.
- 6 essais d'absorption de type Lefranc réalisés dans les sondages SC6 et SC7

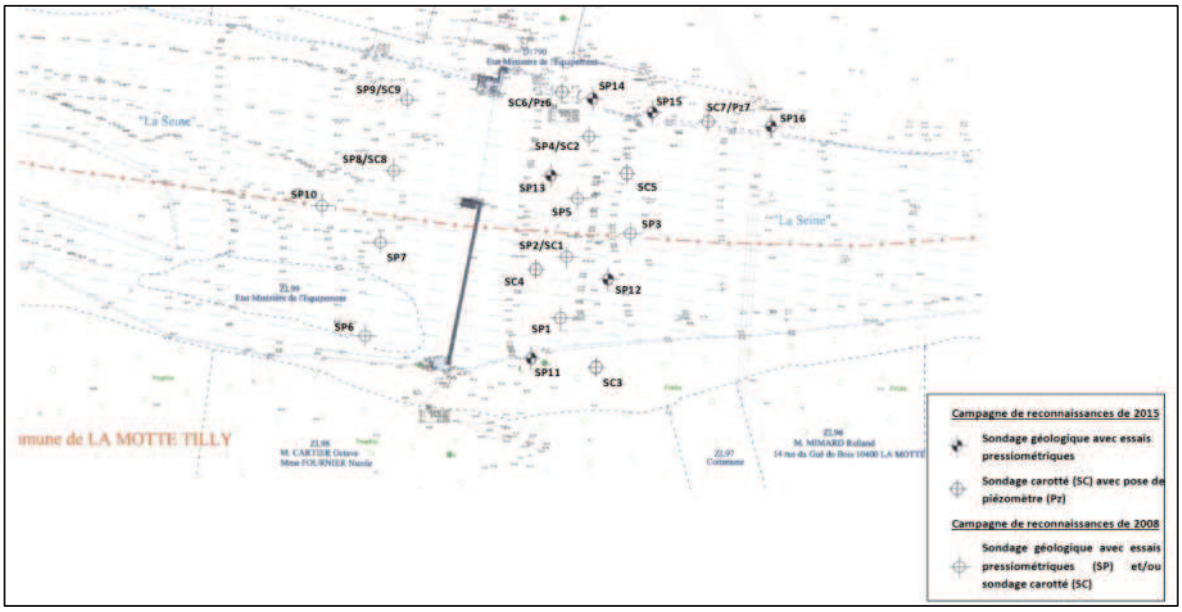
Des analyses en laboratoire ont été réalisées sur des échantillons prélevés dans les sondages SC3, SC6 et SC7. Elles ont consisté en la réalisation de 5 identifications GTR, 1 mesure de la densité de la craie, 3 mesures de la teneur en matière organique, 5 essais de cisaillement à la boite de type CD et 1 essai de cisaillement à la boite de type UU.

Depuis la voie d'eau :

- 2 sondages carottés (SC4 et SC5) à 15.00 m de profondeur.
- 2 sondages pressiométriques (SP12 et SP13) à 15.00 m de profondeur.
- 6 essais d'absorption de type Lefranc réalisés dans les sondages SC4 et SC5

Des analyses en laboratoire ont été réalisées sur des échantillons prélevés dans les sondages SC4 et SC5. Elles ont consisté en la réalisation de 2 identifications GTR, 2 mesures de la densité de la craie et 1 essai de cisaillement à la boite de type CD.

5 sondages (ST1 à ST5) ont été réalisés pour l'analyse des sédiments : ST4 et ST5 en amont du barrage et ST1 à ST3 en aval du barrage. Ces sondages ont été arrêtés à 0.50 m de profondeur par rapport au fond de la Seine. Ils ont permis de prélever des échantillons pour faire des analyses granulométriques en laboratoire.



Tabl. 4 - Plan d'implantation des sondages pour les deux campagnes

Les sondages ont été nivelés en (X,Y) en LAMBERT I et IGN 69 en (Z).

7.1.2.1.3. Essais de fonçage de palplanches 2015

Un essai de fonçage de palplanches a été réalisé en 2015 afin de déterminer les conditions de mise en œuvre des palplanches du batardeau de chantier. Deux séries d'essais ont été effectuées ; une en fluvial depuis un ponton, et une seconde en berge (rive droite). Pour chaque série, deux méthodes de fonçage ont été testées : par battage et par vibrofonçage d'une paire de palplanches PU 18 de 12 m de longueur.
Les essais se sont révélés très concluant car **les palplanches ont été descendues sur toute leur longueur sans difficultés**, **aisément et sans refus**. Il est à préciser que la couche de craie compacte n'a pas été atteinte lors des essais.
Il est précisé que les palplanches ont pu être extraites après les essais sans difficultés, et ne montrant pas de signe de détérioration du pied et de la tête.
Lors des essais, des mesures de vibrations ont été faites au niveau du barrage. Les vitesses particulaires sont assez faibles et inférieures au seuil de sensibilité de ce type d'ouvrage.

7.1.2.1.4. Campagne en 2018

La campagne de reconnaissance réalisée par GEOTEC en 2018 a consisté en l'exécution, depuis la berge et en milieu fluvial, de :

Depuis la berge :

- 3 sondages pressiométriques (SP17, SP18 et SP20) réalisés en diamètre 64 mm. La sondeuse utilisée est de marque GEOTEC et de type TB225. Ces sondages ont été arrêtés à 18.00 m de profondeur par rapport au terrain actuel. Les essais pressiométriques

ont été répartis selon un intervalle moyen de 1.00 m. Ils ont permis d'estimer la nature des terrains traversés et de mesurer leurs caractéristiques mécaniques.

- 1 sondages pénétromètrique (P18) réalisés jusqu'à une profondeur de 18 m. Ce sondage a permis d'estimer la nature des terrains traversés et de mesurer leurs caractéristiques mécaniques.

Depuis la voie d'eau :

- 1 sondage carotté (SC10) réalisé en diamètre 114 mm. La sondeuse utilisée est de marque GEOTEC et de type TB225. Ce sondage a été arrêté à 15.00 m de profondeur par rapport au fond de la Seine. Il A permis de bien visualiser la nature des terrains rencontrés et de prélever des échantillons intacts pour analyses en laboratoire.
- 1 sondage pressiométrique (SP19) réalisé en diamètre 64 mm. La sondeuse utilisée est de marque GEOTEC et de type TB225. Ces sondages ont été arrêtés à 18.00 m de profondeur par rapport au terrain actuel. Les essais pressiométriques ont été répartis selon un intervalle moyen de 1.00 m. Ils ont permis d'estimer la nature des terrains traversés et de mesurer leurs caractéristiques mécaniques.
- Des analyses en laboratoire ont été réalisées sur des échantillons prélevés dans le sondage SC10. Elles ont consisté en la réalisation de 4 identifications GTR et 4 essais triaxiaux.

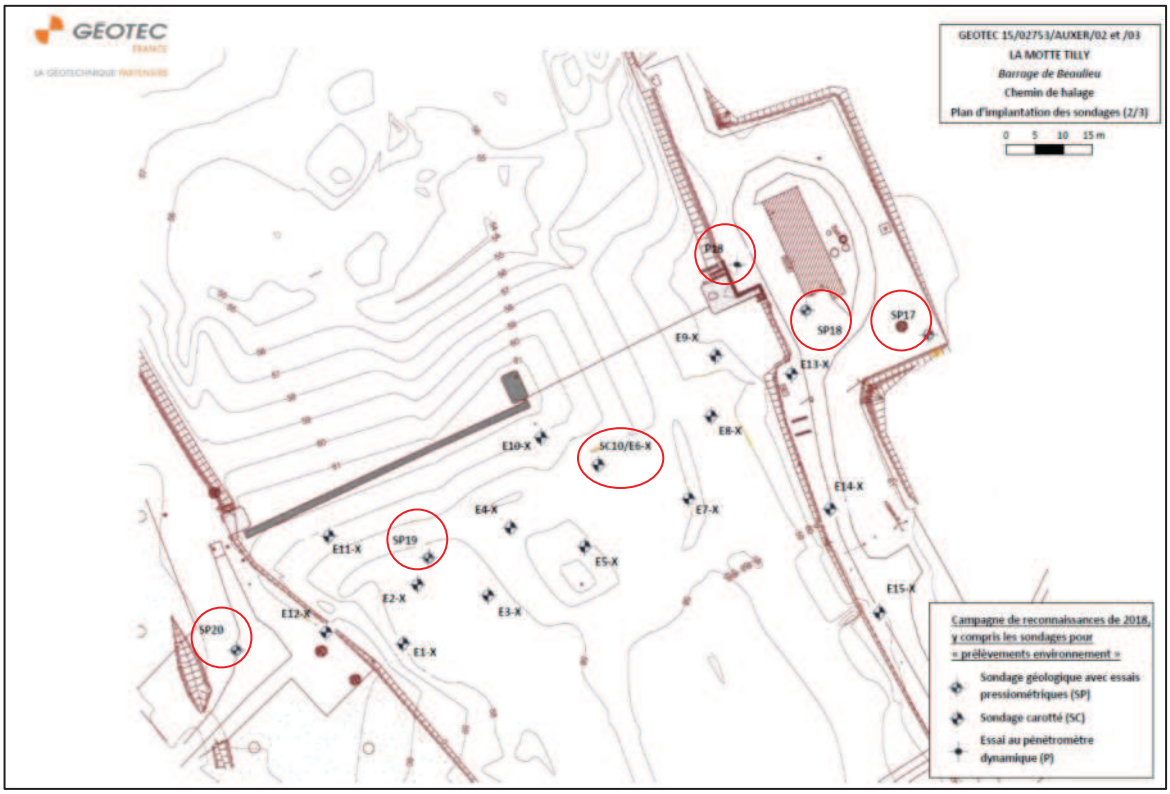


Fig. 12. Plan d'implantation des sondages pour la campagne du 2018 (en rouge)

7.1.2.1.5. Profil lithologique

Sur berges :

- De la terre végétale identifiée au droit des sondages SC3, SP11 et SP14 sur 10 cm à 20 cm d'épaisseur
- Des remblais identifiés au droit des sondages SC6, SC7 et SP15 sur 0.20 m à 1.15 m d'épaisseur. Ils sont constitués sous une frange de terre végétale, de sable +/- limoneux à graviers avec localement quelques débris de verre et d'une craie altérée blanchâtre
- Une argile limoneuse marron à graviers, des sables argilo-tourbeux et des sables limoneux marron beige à graviers identifiés au droit des sondages SC3, SC7, SP11, SP14 et SP16 jusqu'à 1.30 m à 4.40 m de profondeur par rapport au TA

Du fait de l'étreinte latérale très faible et notamment dans les horizons tourbeux ou à passées tourbeuses, les essais pressiométriques réalisés en SP11 à 3.00 m et 4.00 m de profondeur et en SP16 à 2.00 m de profondeur sont limite mesurable. Ils mettent donc en évidence des terrains très médiocres

- une craie blanche, sableuse à graveleuse en tête et localement avec des silex, identifiée au droit de tous les sondages jusqu'à 18.00 m, profondeur d'arrêt des investigations. Cet horizon correspond à la craie d'âge Campanien. Elle est apparue très altérée à altérée au droit de tous les sondages jusqu'à 12.60 m à 18.00 m de profondeur par rapport au TA. Dans sa frange altérée, ses caractéristiques mécaniques sont très hétérogènes mais globalement médiocre.
- Au-delà, elle est apparue compacte avec des caractéristiques mécaniques élevées à très élevées

Depuis la voie d'eau :

- des sables, graviers, galets et blocs, et des graviers et blocs sableux avec localement +/- de matrice limoneuse à argileuse beige à grise identifiés sauf en SC8 jusqu'à 0.50 m à 3.60 m de profondeur par rapport au TA. Cet horizon correspond aux formations alluvionnaires anciennes de la Seine
- une craie blanche, sableuse à graveleuse en tête et localement avec des silex, identifiée au droit de tous les sondages jusqu'à 18.00 m à 30.00 m, profondeur d'arrêt des investigations. Cet horizon correspond à la craie d'âge Campanien. Elle est apparue très altérée à altérée au droit de tous les sondages jusqu'à 8.00 m à 17.00 m de profondeur par rapport au TA. Dans sa frange altérée, ses caractéristiques mécaniques sont très hétérogènes mais globalement médiocres
- Au-delà, elle est apparue compacte avec des caractéristiques mécaniques élevées à très élevées.

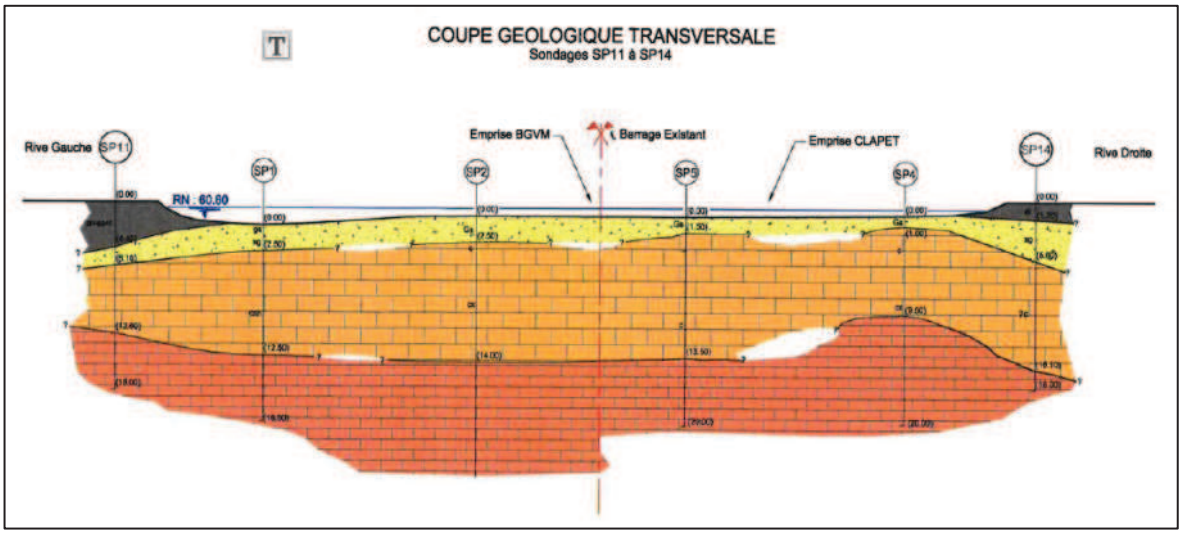


Fig. 13. Profil lithologique transversal AMONT (SP11 à SP14) – à environ 30 m du barrage actuel

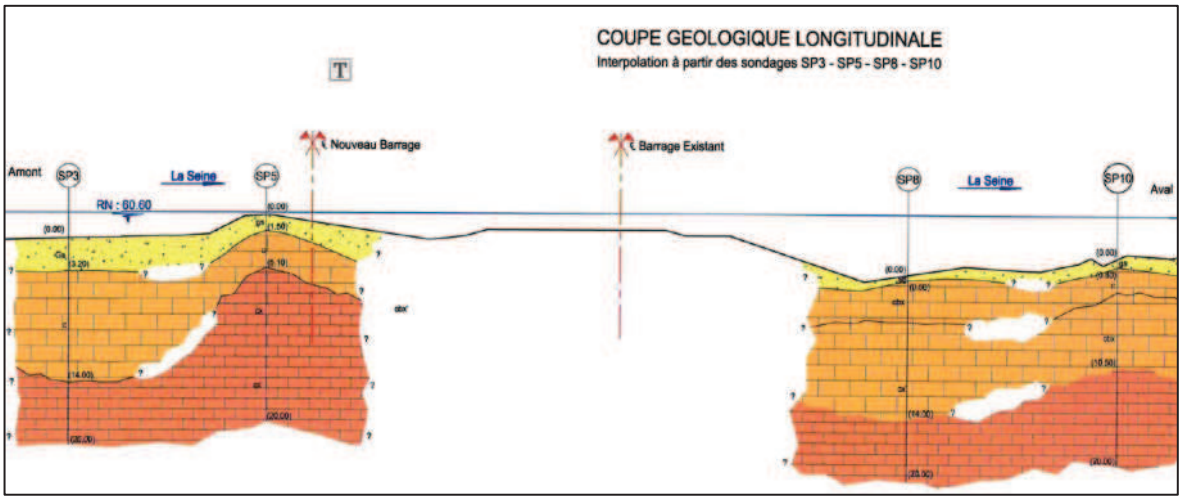


Fig. 14. Profil longitudinal AMONT / AVAL dans l'axe du barrage

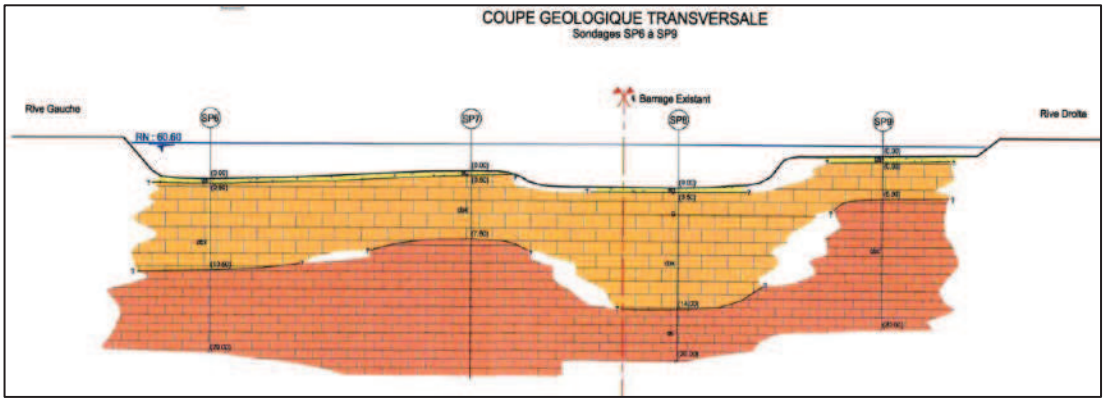


Fig. 15. Profil lithologique transversal AVAL (SP6 à SP9) – à XX m du barrage actuel

Le tableau ci-dessous donne une appréciation de la lithologie entre la rive gauche et la rive droite dans la zone d'implantation du barrage.

	SP11 (rive gauche)	SP1	SP2	SP5	SP13	SP4	SP 14 (rive droite)
Terre végétale	61.30 61.15						61.20 61.00
Argile limoneuse	61.15 58.50						61.00 59.50
Sable argileux	58.50 56.90	59.00 57.90					59.50 55.60
Sable et gravier crayeux	56.90 55.20	57.90 56.50	59.90 57.40	59.90 58.40	57.70 55.90	60.00 59.00	55.60 54.40
Craie altérée	55.20 48.70	56.50 48.50	57.40 49.30	58.40 46.40	55.90 42.70	59.00 50.50	54.40 45.10
Craie compacte	< 48.70	< 48.50	< 49.30	< 46.40	Non rencontrée	<50.50	< 45.10

Tabl. 5 - Lithologie dans la zone d'implantation du barrage

	SC6	SP14	SC7	SP15
Terre végétale	61.35 61.15	61.20 61.00	61.25 61.00	61.20 61.00
Sables limoneux marron / remblai	61.15 60.55	61.00 59.50	61.00 59.95	61.00 60.10
Sable et gravier crayeux	60.55 56.35	59.50 55.60	59.95 56.05	60.10 56.05
Craie altérée	56.35 46.25	55.60 45.10	56.05 47.65	56.05 < 43.25
Craie compacte	<46.25	< 45.10	<47.65	Non rencontrée

Tabl. 6 - Lithologie dans la zone d'implantation de la passe à poissons

On note que le caractère très variable de la lithologie ainsi que celle du toit de la craie compacte. Cette variabilité peut poser des difficultés localisées à la mise en œuvre du batardeau et des fondations. Il est important celle-ci soit d'avantage identifiée dans le périmètre de construction (campagne complémentaire à programmer).

Afin de vérifier l'absence de nécessité de recours à la technique de préforage pour la mise en œuvre de palplanches dans les couches graveleuses et la craie altérée, la détermination de la présence de passées alluvionnaires très graveleux à blocs ou de silex sera à préciser.

La perméabilité de la craie altérée a été mesurée par un essai Lefranc. Cette perméabilité est variable entre 1 10-4 et 5.10-5. Compte tenu de la variabilité, **un essai de pompage sera à réaliser avant le démarrage des études de projet.**

Le débit d'exhaure dans les enceintes batardées, ainsi que la résistance au frottement acier/craie devront être déterminés.

Le niveau de nappe dans les sols correspond au niveau de la Seine.

7.1.3. Sismicité du site

La zone concernée n'est présente pas aucun enjeu sismique, comme illustré ci-dessous :

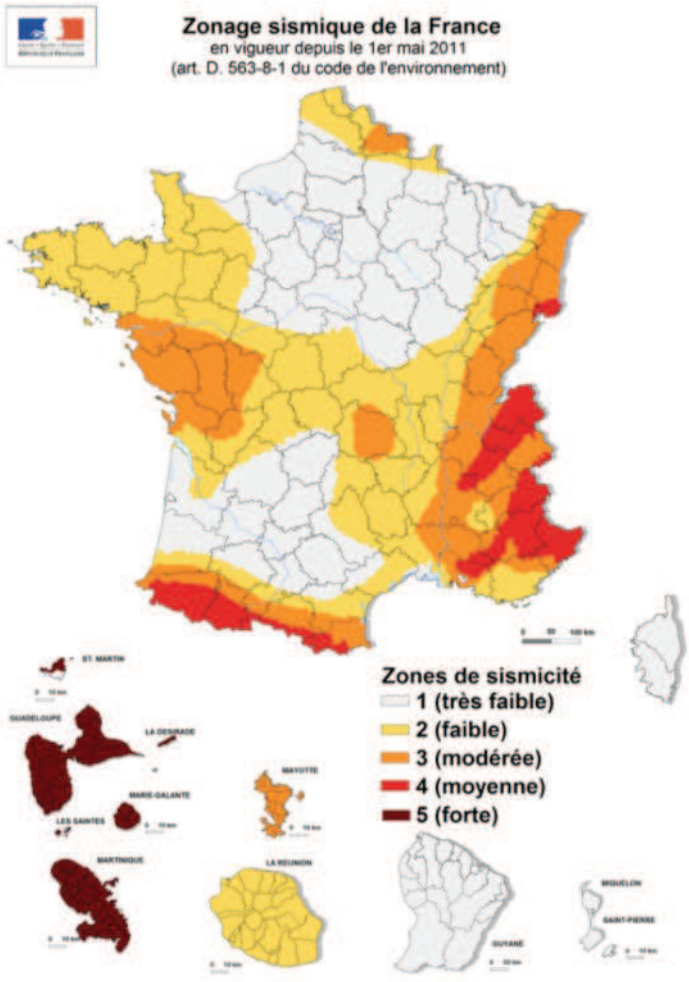


Fig. 16. Zonage sismique de la France

7.2. FONCTIONNALITES

7.2.1. Gestion du plan d'eau

Le barrage actuel est géré de façon à ce qu'il permette de maintenir la cote de retenue normale (RN) fixée à 60,60 m NGF. Cette cote de RN est donnée par VNF à l'amont immédiat du barrage et au droit de l'écluse de Beaulieu. Cependant, il est vraisemblable que le site principal où s'applique la contrainte de niveau soit l'écluse de Beaulieu.

Le barrage actuel est constitué de deux passes. Une passe navigable à hausses Chanoine et un déversoir équipé de hausses Pasqueau.

La passe rive droite, dite passe navigable, est équipée de 28 hausses Chanoine en bois. La largeur totale de cette passe est de 35 m. En haut de chacune des hausses se situe une vanne papillon qui peut être ouverte pour empêcher la bascule de la hausse.

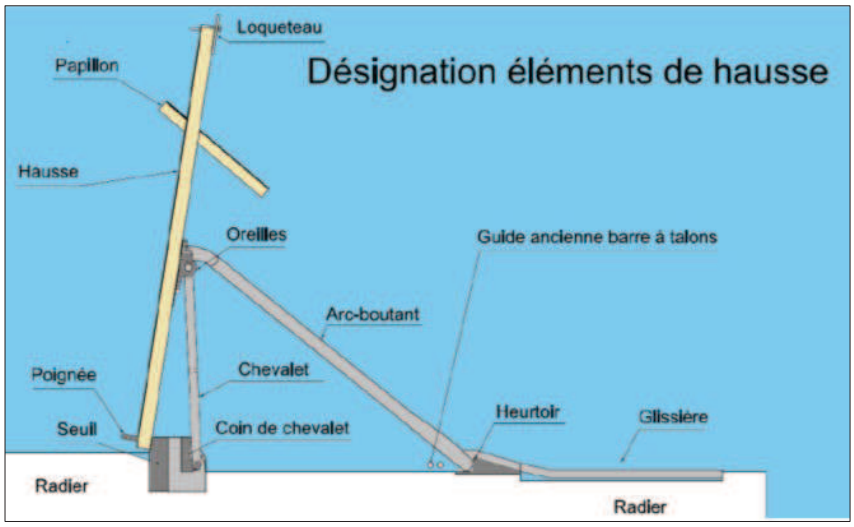


Fig. 17. Éléments d'une hausse Chanoine (VNF)

La passe rive gauche, dite passe déversoir, est équipée de 37 hausses Pasqueau en bois. La largeur totale de cette passe est de 50,12 m.

Chaque hausse du barrage fonctionne en tout ou rien : elle est **soit levée, soit baissée**. Le niveau du bief amont est régulé par le nombre de hausses du barrage en position levée ou fermée.

L'exploitation des deux passes de l'ouvrage actuel est basée sur le séquencement d'ouverture général suivant :

- Pour les faibles débits, les débits les plus courants sont gérés par la passe déversoir (rive gauche).
- Au fur et à mesure de l'augmentation du débit, les vannes papillons situées en haut des hausses Chanoine sont ouvertes pour empêcher leur bascule. En même temps, les panneaux de hausse Pasqueau sont progressivement basculés. Le débit emprunte donc principalement la passe déversoir par surverse et de façon complémentaire à travers les vannes papillons sur la passe droite.

- Les deux passes fonctionnent ensuite en surverse en étant progressivement couchées jusqu'à atteindre leur ouverture complète. En crue, le niveau aval est proche du niveau amont, les hausses sont en position couchée et ne font plus obstacle à l'écoulement.
- Lors de la décrue, le séquencement d'ouverture des hausses est inversé jusqu'à retrouver l'écoulement des débits courants par la passe déversoir.

L'analyse des relevés fournis par VNF pour les années 2003 à 2009 permet de préciser ce séquencement général et d'y affecter des ordres de grandeur de débit.

À partir du débit de 120 m3/s, le niveau aval devient proche du niveau amont et le débit de débordement est de l'ordre de 160 m3/s. L'abattage du barrage est réalisé progressivement entre ces deux débits, de 120 à 160 m3/s.

7.2.2. Navigation

Le barrage n'est pas navigable.

7.3. EXPLOITATION

7.3.1. Accès pour exploitation

Les accès au barrage de Beaulieu peuvent se faire par voie terrestre aussi bien en rive droite qu'en rive gauche de l'ouvrage.

7.3.2. Exploitation du nouveau barrage

L'exploitation du nouveau barrage sera entièrement automatisée. Le barrage sera piloté par un automate fonctionnant en commande locale. Les consignes de gestion seront entrées dans le programme de l'automate, ainsi que les modes de gestion des défauts et des alarmes.

D'après le programme de reconstruction du barrage, celui sera géré à minima avec les modes de marche suivants :

- Mode automatique : gestion de la position des organes de manœuvre en fonction du niveau amont et aval, et des contraintes d'exploitation.
- Mode manuel : commandes manuelles, à distance et sur site, sous contrôle de l'automate et des sécurités.
- Mode dégradé : manœuvre restreinte au débrayage manuel des éléments de bouchure lorsque l'automate est hors service, permettant au minimum la descente gravitaire des vannes et le relevage des vannes par dispositif de secours.

Des informations de base telles que les niveaux amont, aval, milieu du bief et les principaux signaux de défauts pourront être transmises par ligne RTC à la subdivision. La télégestion et le pilotage à distance du barrage sont prévus dans l'opération.

Pour la passe à poisson, la vanne d'entrée sera asservie et régulée par l'automate, aussi bien qu'à distance.

7.3.3. Exploitation du barrage durant la construction

D'une manière générale, les travaux de construction du nouveau barrage seront menés de façon à ce que la gestion du plan d'eau soie perturbée au minimum.

Le niveau du plan d'eau durant la construction sera géré par les hausses Chanoine (passes à droite) dans un premier temps, de manière à ne pas créer de courant direct dans cette zone. Lors de la phase 3 de travaux, il sera géré par les hausses Pasqueau (passes à gauche).

L'entreprise inspectera le barrage existant et intégrera les risques liés aux désordres sur les hausses dans son organisation de chantier. La gestion du barrage existant pendant la durée des travaux sera autant que possible gérer en collaboration entre l'exploitant et l'entreprise.

En cas de forte crue, les batardeaux de chantier seront arasés et le barrage actuel sera affalé, afin de libérer complétement la section hydraulique. Un système de câbles est prévu dans la partie droite (Chanoine) pour permettre de relever les hausses après la crue.

7.4. MAINTENANCE

7.4.1. Accès pour maintenance

Pour la maintenance lourde (mise à sec de l'ouvrage, mise en place des poutres à batardeau de maintenance, grutage du clapet …), la charge dimensionnante pour le grutage est relative au clapet métallique. Sa masse est estimée à 10 T.

Le grutage et l'évacuation du clapet sera réalisée par la voie d'eau via barge à l'amont.

7.4.2. Equipements et visites techniques

La maintenance et l'utilisation faciles et sécurisées d'un barrage sont le gage de sa longévité. Ainsi, ses différentes parties devront être facilement accessibles et conçues de façon adéquate pour permettre l'inspection visuelle et un entretien de routine aisé, sans danger.

A cette fin, le barrage sera muni d'une passerelle d'exploitation. Les culées et piles seront équipées de garde-corps fixes, d'escaliers et plateformes métalliques permettant un accès piéton au personnel d'exploitation seul.

Le matériel électromécanique sera placé au-dessus du niveau de la crue centennale (62.23 m IGN69).

Sauf anomalie décelée, une inspection détaillée est à prévoir trois ans après la mise en service de l'ouvrage, puis tous les cinq ans, avec une mise à sec tous les dix ans. Toute mise à sec des passes du barrage s'effectuera en plaçant des batardeaux de maintenance amont et aval.

8. PRINCIPES TECHNIQUES RETENUS

8.1. IMPLANTATION DES OUVRAGES

Le barrage est implanté à environ 15 m en amont du barrage existant. Le choix de cette distance, la plus proche possible, a été adopté afin de limiter un maximum les impacts du projet de reconstruction au regard des intérêts écologiques forts du site et de minimiser l'impact hydraulique (quasiment conservatif) dans le souci de préservation de l'île située en aval.

Ce positionnement permet la création de la rive gauche du nouveau barrage au niveau de la parcelle ZL 97 de la commune de la Motte Tilly qui représente un intérêt écologique moyen. La parcelle privée est située juste en amont de la ZL 97 présente un intérêt écologique fort en raison de son boisement. En rive, droite une distance de 50 m à partir du barrage offre une possibilité d'aménagement intéressante sur une zone d'intérêt écologique moyen. Au-delà de cette distance, les élargissements techniques (de la crête de berge et du chemin) ne sont plus envisageables dans la mesure où des habitats utilisés par des espèces sur cette rive peuvent être détruits.

Le bord du plan d'eau et la ripisylve des berges présentes un intérêt écologique très fort en raison de sa biodiversité floristique. La reconstruction très proche du barrage actuel permet de limiter cet impact.

La reconstruction à proximité immédiate du barrage actuel est difficilement réalisable en raison de la nécessité du maintien de l'exploitation du barrage pendant les travaux, rendu complexe par l'utilisation de l'embarcation devant naviguer en amont immédiat, mais aussi en raison de l'état vieillissant du barrage et du mécanisme de manœuvre des hausses du pertuis qui ne nous paraissent compatible avec la réalisation de travaux jouxtant son génie civil.

Ce positionnement permet également d'assurer une maîtrise foncière plus certaine avec la commune de la Motte-Tilly sur l'accès et le positionnement des parties du barrage en rive gauche, et notamment de favoriser la création de cette rampe d'accès à la passerelle dans cette parcelle si celle-ci devrait être accessible au publique.

Enfin, le positionnement à quelques mètres du barrage actuel présente un intérêt économique certain. Ceci permet non seulement de réduire la largeur construite du barrage d'environ 10 m par rapport au barrage actuel moyennant le recalage du niveau du radier (abaissement), mais aussi de limiter les travaux de recalibrage, de protection du fond aval contre les affouillements, de protection de recalibrage, et de limiter les opérations de déconstruction du radier du barrage actuel.

Compte tenu des emprises plus favorables à VNF pour l'exploitation et la maintenance, l'ouvrage de franchissement piscicole sera implanté en rive droite.

8.2. DESCRIPTION

8.2.1. Présentation générale

Le nouveau barrage se situera à environ 15 m du barrage existant. Il s'agit un barrage en béton armé (pile et radier) constitué par quatre passes de 17.50 m. Une passerelle permet de franchir l'ensemble des passes et d'accéder aux différentes piles et culées. Il s'agit d'une passerelle technique dans une première phase, avec possibilité d'accueillir une passerelle mixte à l'avenir, accessible aux PMR.

Une passe à poissons à fentes verticales est accolée au barrage, le long de la berge en rive droite (cf. figure ci-dessous) :

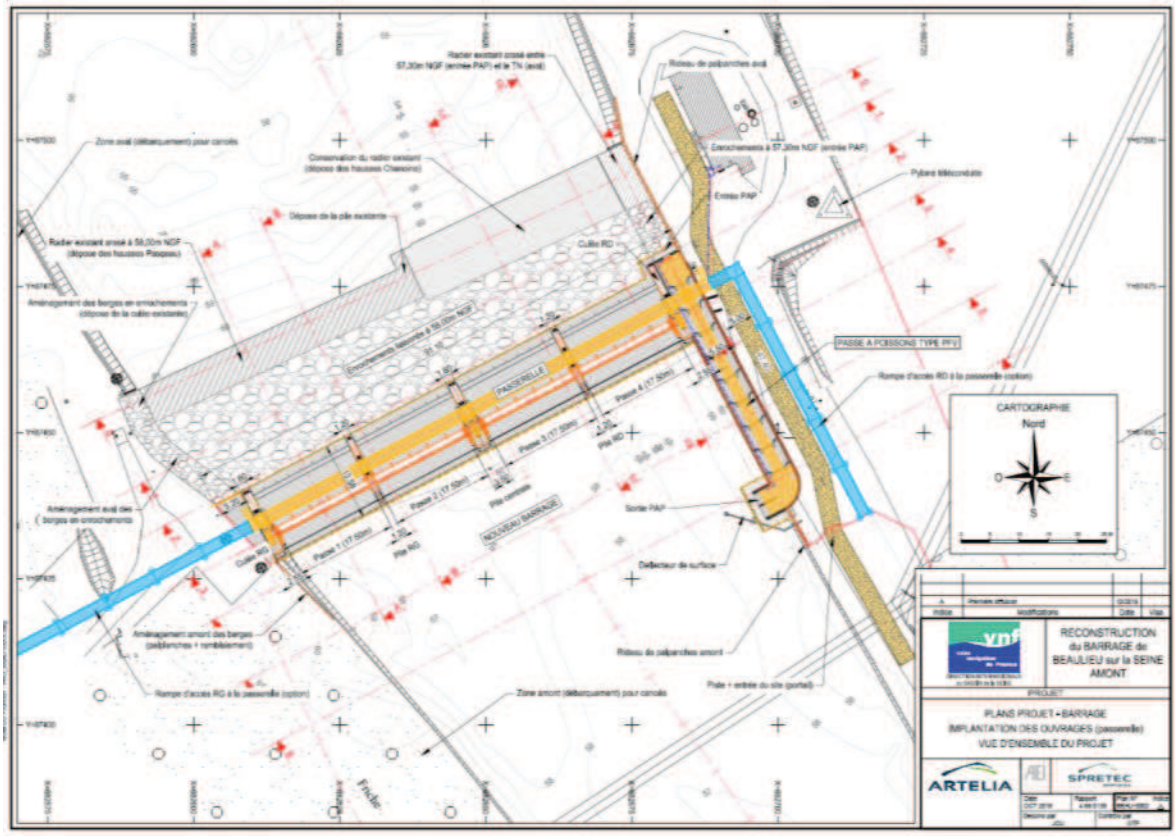


Fig. 18. Vue en plan de l'aménagement du nouveau barrage

Le barrage sera piloté en téléconduite depuis le PCC de Mouy-sur-Seine. A cet effet, la communication avec le PCC se fera par le mode hertzien, depuis un pylône qui sera mis en place en rive droite, non loin du local existant.

Le barrage existant sera partiellement déconstruit pour assurer sa transparence hydraulique au regard du fonctionnement du nouveau barrage. Pour réduire le coût de démolition du barrage existant, il a été fait le choix de conserver quasiment 50 % de sa structure dans la protection du fond aval en sortie du nouveau barrage contre les affouillements. Entre le nouveau et le barrage existant, une couverture en enrochement sera posée dans ce même sens.

La berge aval rive droite en entrée de l'ouvrage de franchissement piscicole sera soutenue et protégée par un rideau de palplanches. Le talus de berge de celle opposée sera protégé par des enrochements. En amont immédiat, rive gauche, la berge sera protégée sur une dizaine de mètres.

8.2.2. Barrage

Pour la tenue et la régulation du bief, chaque passe du barrage sera équipée d'un clapet métallique de 18 m de large manœuvré par un seul vérin oléo-hydraulique.. Chaque tige de vérin est protégée par un redan en béton en amont de pile. La pile centrale est équipée de deux vérins, chacune des culées est équipée d'un vérin. Les autres piles servent à la séparation des passes et à soutenir la passerelle. Chaque clapet est muni d'un verrou de maintenance au niveau des vérins.

Les vérins sont accessibles par un escalier métallique depuis la passerelle dont l'accès est condamné par un portillon verrouillé. D'autres accès, nécessaires à l'exploitation, sont prévus et protégés, notamment l'amont et l'aval des piles.

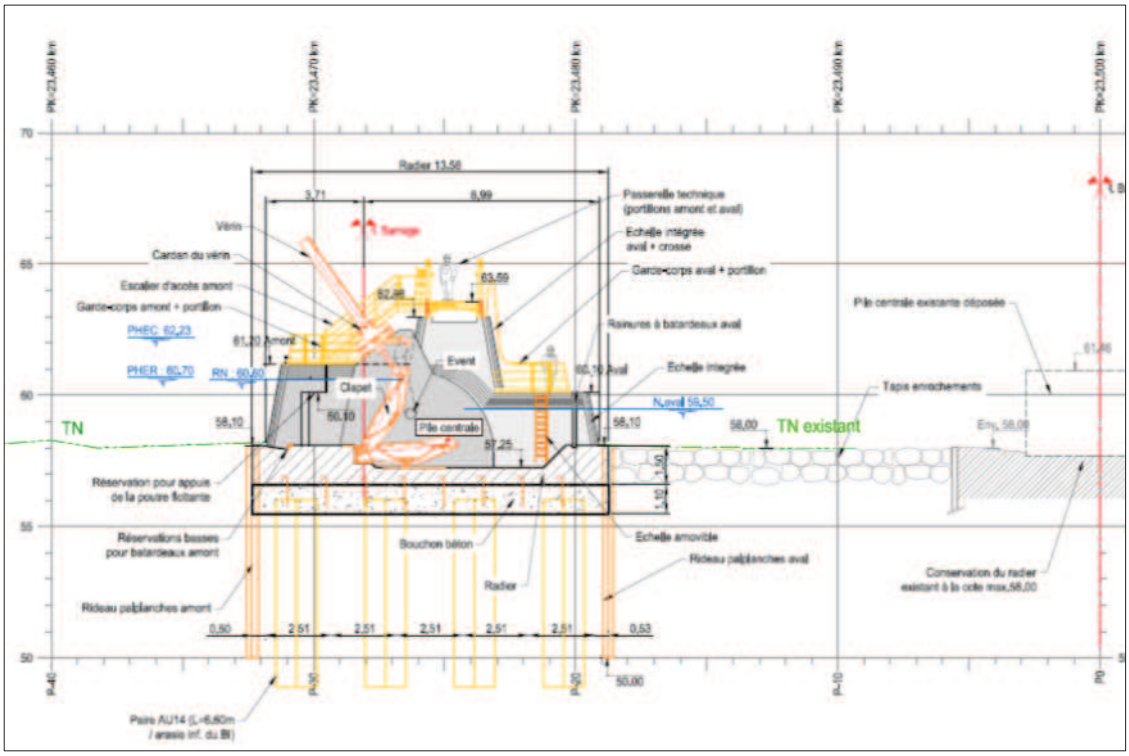


Fig. 19. Coupe sur la pile centrale du barrage

Pour la maintenance, chaque passe peut être mise à sec à l'aide d'un jeu de batardeaux amont et aval, dédié au site. Le batardeau amont proposé comprend une poutre supérieure flottante et un rideau d'aiguilles en appuis sur une engravure intégrée sur le radier.

Le batardeau aval comprend des poutrelles horizontales supportées dans des potelets préalablement installés dans des réservations intégrées au radier aval.

L'amenée de ces matériels est prévue par des moyens fluviaux possédés par l'exploitant ou inclus dans la présente fourniture. Ces solutions permettent à l'exploitant d'être autonome pour ces opérations de maintenance (hors plongeurs).

La longueur totale du barrage (dans le sens amont / aval) est 13.58 m. Le seuil du radier sera calé à la côte 58.10 m IGN69 ; l'amont des piles et des culées à 61.20 m IGN 69, soit au niveau de la crête des berges. Le haut des clapets est calé à 60.80 m IGN 69 (soit + 20 cm au-dessus de la RN à la demande de VNF).

Le radier du barrage est ceinturé de part et d'autre par un rideau de palplanches métalliques parafouille (ayant aussi servi au batardeau de chantier). Le radier sera fondé sur un béton de masse (bouchon immergé) de 1.1 m d'épaisseur connecté à des palplanches (doubles AU14 S240 GP) permettant la reprise des sous-pressions.

L'espace entre le nouveau barrage et le barrage actuel sera tapissé par 1.30 m d'épaisseur d'enrochements liaisonnés en raison des vitesses importantes d'écoulement générées par le ressaut hydraulique.

Le radier de la partie déversoir du barrage existant sera arasé à la côte 58 m IGN69 (cf. figure suivante), la culée rive gauche ainsi que la pile centrale également.

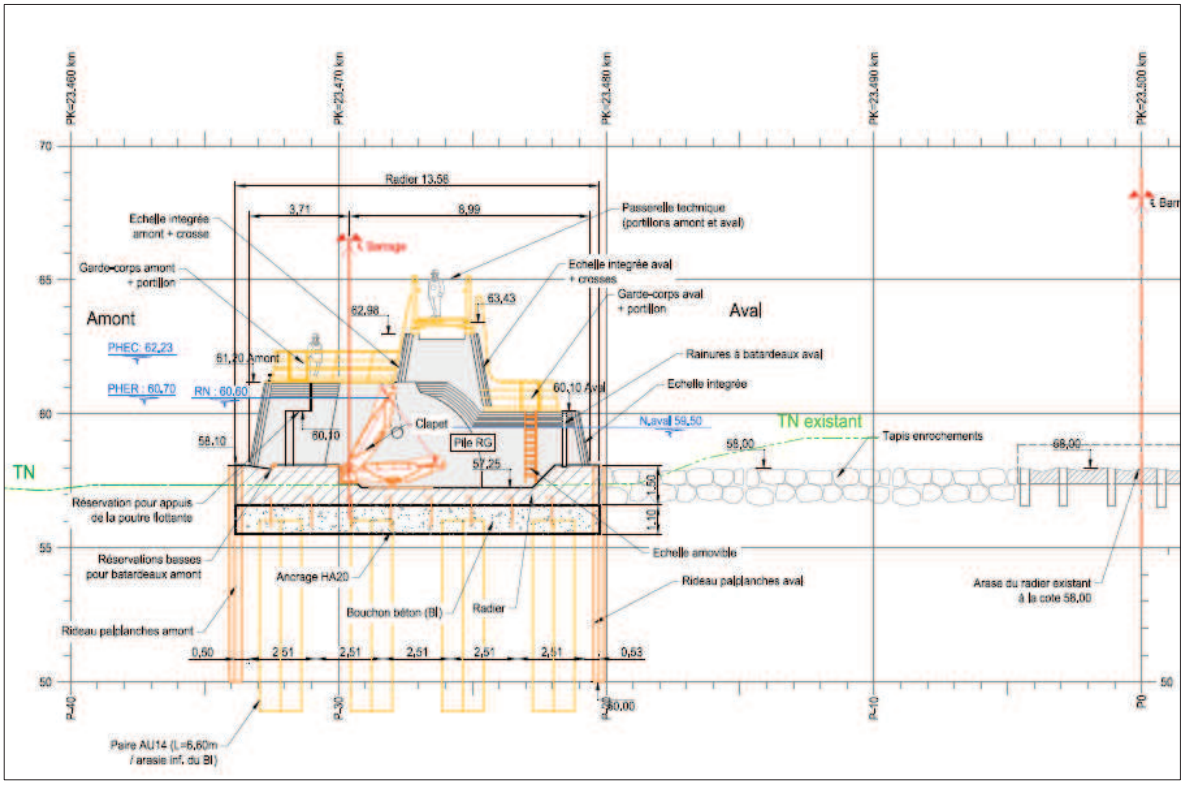


Fig. 20. Profil après travaux dans l'alignement déversoir du barrage existant

Le radier de la partie pertuis du barrage ne sera pas arasé ; seule la culée rive droite sera déconstruite et sa fondation arasée à la côte 57.30 m IGN69.

La passerelle de franchissement du barrage sera réalisée en structure métallique. Dans sa configuration à usage mixte (avec public) elle sera accessible aux PMR et cyclistes, et aura une largeur de 1.60 m utile. La hauteur des gardes corps est adaptée aux cyclistes et le plancher est réalisé en caillebotis (usage technique) et recouvert d'un platelage en bois (usage mixte). L'intrados de la passerelle est calé à 40 cm au-dessus des PHEC. Les rampes seront fondées sur des fondations superficielles.

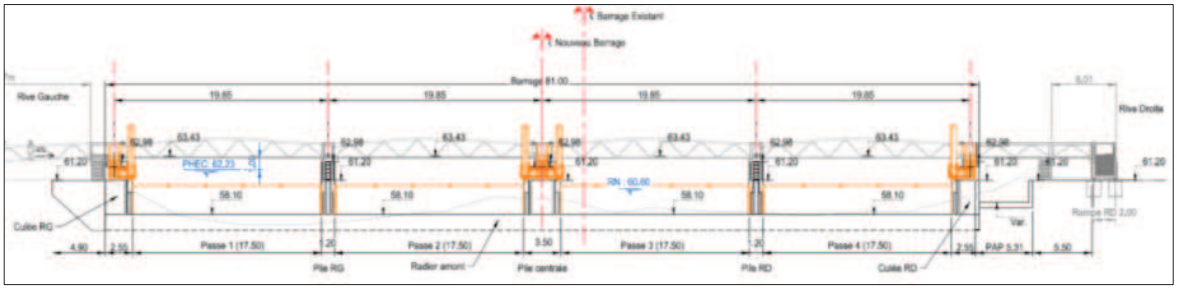


Fig. 21. Barrage et passerelle vue de l'amont

8.2.3. Ouvrage de franchissement piscicole

Deux types de dispositifs de montaison avaient été envisagés au stade des études préliminaires :

- soit une passe à bassins à doubles fentes verticales,
- soit une rampe à macro-rugosités régulièrement réparties.

Les données acquises depuis lors montrent que le barrage de Beaulieu est soumis à un exhaussement de la ligne d'eau aval très important en fonction du débit, et particulièrement « rapide », dans le sens où il est déjà significatif pour des débits limités, très inférieurs au débit médian.

Dans ces conditions, une passe à poissons perd toute attractivité pour les débits moyens par ennoiement de l'entrée, sauf si l'entrée est munie d'un dispositif de type « vanne effaçable asservie » permettant d'y maintenir une chute et une vitesse d'attrait constantes dans toute la gamme des débits de fonctionnement de la passe.

Une telle vanne asservie en entrée est fréquente sur les passes à bassins, fondamentalement techniques, compactes et modulables. Le principe même des rampes à macro-rugosités n'est en revanche guère compatible avec ce type d'équipement, qui ferait perdre au dispositif son avantage de rusticité, tout en exigeant une emprise beaucoup plus importante qu'une passe à bassins, difficilement intégrable au site.

Le type passe à bassins à doubles fentes verticales a donc été retenu.

L'ouvrage de franchissement aura une longueur de 48 m pour une largeur intérieure de 4.50 m. Neufs cloisons permettront de créer la dénivellation nécessaire à l'amontaison des poissons à partir d'un bassin d'entrée. Les cloisons seront à doubles fentes. Le fond de l'ouvrage sera recouvert de galets. Une grille anti-embâcles sera placée à l'entrée amont, ainsi qu'un déflecteur de surface (palplanches fixées sur des tubes). Trois vannes viendront équiper l'ouvrage : une vanne d'asservissement aval, et deux vannes manuelles de coupure en charge au niveau des fentes de la dernière cloison amont. Deux rainures pour la mise en place d'une grille de piégeage sont prévues au niveau de la sortie amont et deux rainures pour les nasses de piégeages. Des rainures à batardeau sont prévues en amont et en aval. Le batardage de maintenance s'effectuera au moyen de poutrelles métalliques. L'ouvrage sera sécurisé par un platelage en caillebotis. Un escalier d'accès est prévu pour descendre en fond d'ouvrage.

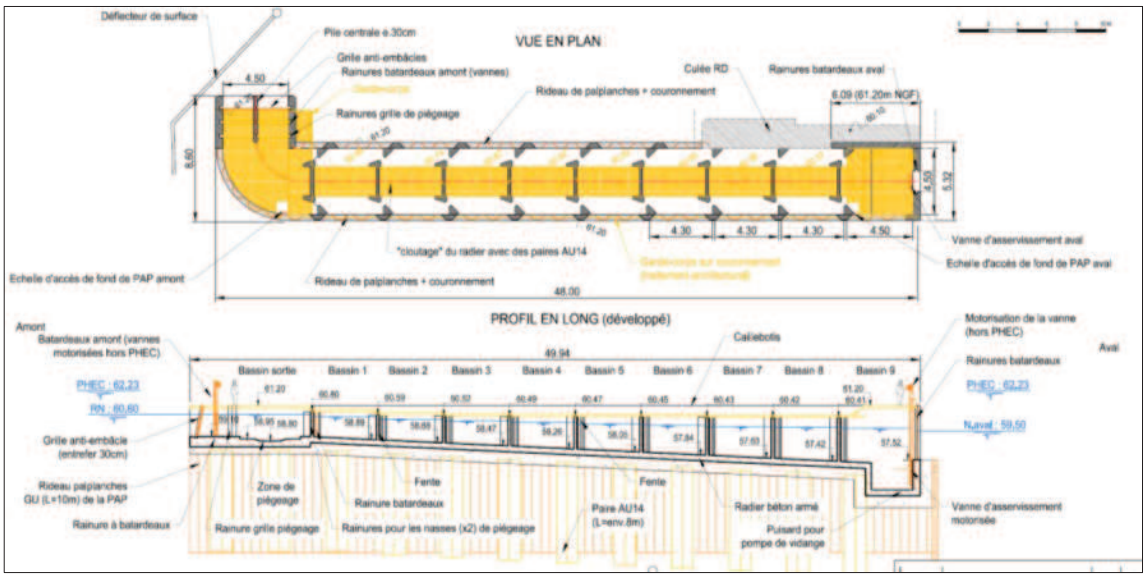


Fig. 22. Vue en plan et profil de l'ouvrage de franchissment piscicole

Il est à souligner que le dimensionnement de l'ouvrage a été faite sur la base d'un niveau aval minimal d'étiage estimé à 58.45 m IGN 69 du fait de l'absence de mesure du niveau.

9. EQUIPEMENTS MECANIQUES

9.1. BOUCHURES MOBILES DU BARRAGE

9.1.1. Présentation générale

De type vanne clapet, les bouchures du futur barrage mobile de BEAULIEU sont chacune principalement constituées d'un tablier courbe articulé sur un axe horizontal dans une série de paliers ancrés dans le radier de l'ouvrage, et manœuvré par un vérin oléo-hydraulique unique.

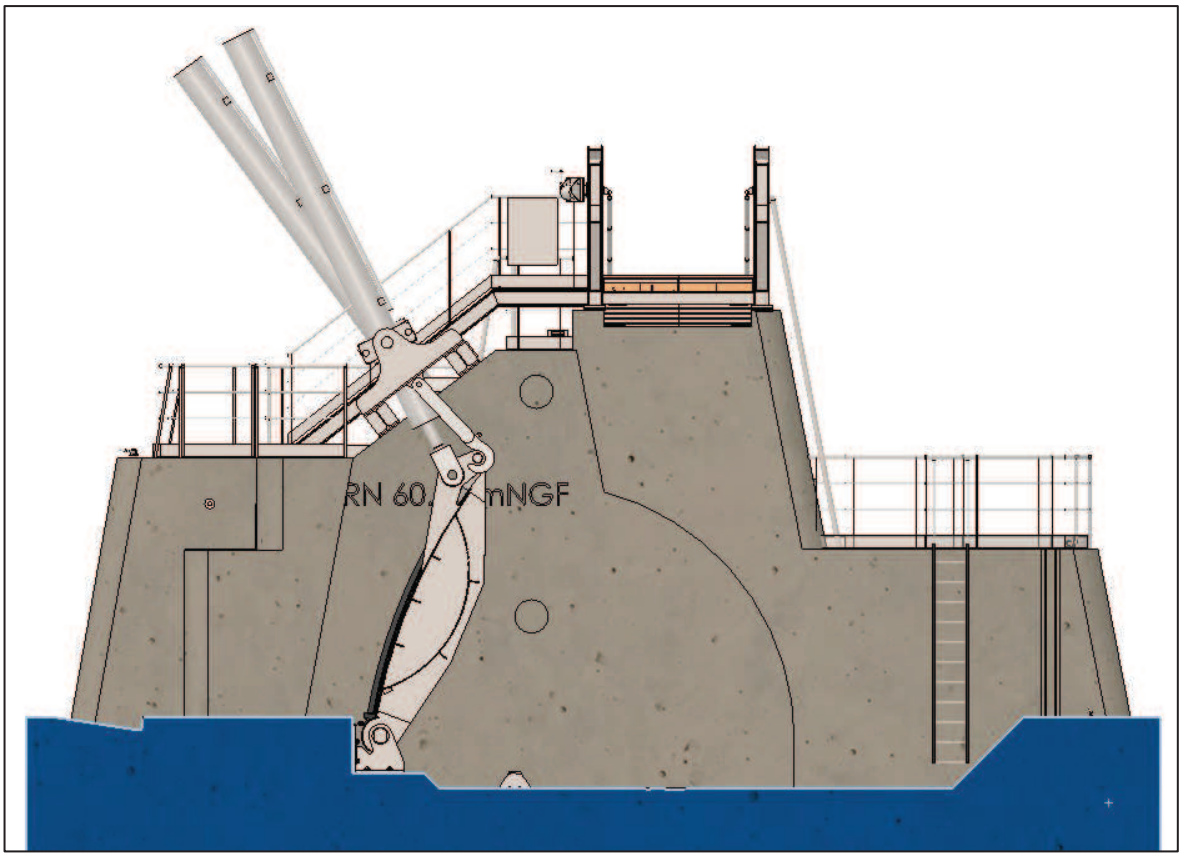


Fig. 23. Ensemble clapet en coupe

En position haute, le tablier présente une inclinaison de 20° par rapport à la verticale. Son arase supérieure est alors à la cote 60,80 m NGF comme exigé par VNF suite à l'AVP (en dérogation du programme). Cette disposition permet une revanche de 20 cm par rapport à la RN en cas de mise à sec de la passe sans batardage amont.

En position basse, le tablier du clapet est effacé dans le radier de l'ouvrage afin de ne pas générer d'obstacle significatif au passage des crues. Dans cette position, l'angle d'inclinaison du tablier est d'environ 3° au-dessus de l'horizontale.

Le point le plus haut du tablier dépassera d'environ 90 mm du radier amont afin de maintenir une charge hydrodynamique sur la structure et d'éviter ainsi un phénomène d'aspiration pouvant générer une inversion des efforts.

Avec une hauteur utile (Hu) de 2,70 m et une largeur utile (Lu) de 18,0 m, ces clapets sont de la catégorie VDP3 – 1OM, suivant le classement du Dossier type Vanne Clapet de VNF. Ces dimensions autorisent donc l'utilisation d'un seul organe de manœuvre par bouchure.

Les principaux constituants de chaque vanne clapet sont :

- 1 tablier de forme classique en ventre de poisson,
- 1 vérin oléo-hydraulique de manœuvre et sa chaise-support,
- 1 palier principal, implanté au droit du montant de commande du clapet,
- 5 paliers courants régulièrement implantés sur toute la largeur de la passe,
- 1 étanchéité horizontale de seuil,
- 2 étanchéités latérales,
- 1 verrou de chômage position haute,
- des butées d'appui en position basse.

Ces éléments sont visibles ci-dessous :

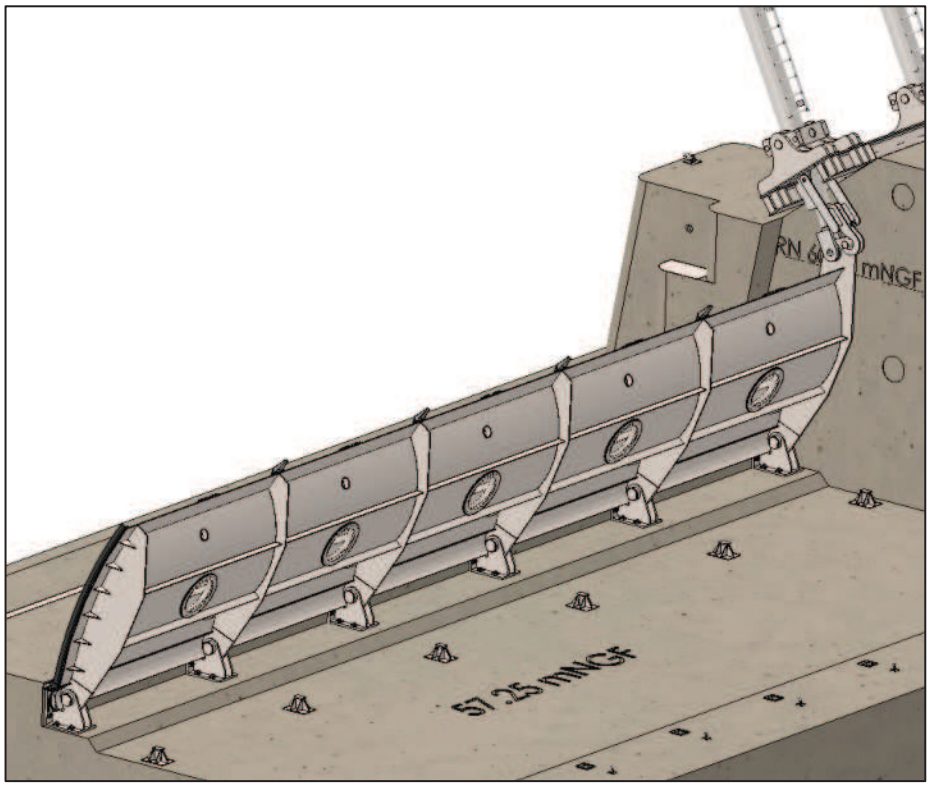


Fig. 24. Ensemble clapet en vue isométrique

9.1.2. Tablier

Le tablier du clapet, de type « ventre de poisson », est constitué par une tôle de bordé amont cintrée soudée sur un ensemble de voiles verticaux et est fermée par une tôle de bordé aval.

Ce bordé aval, cintré sur un rayon plus petit que la tôle de bordé amont, est soudé entre les voiles verticaux sur la face aval de la tôle amont, l'ensemble formant ainsi un caisson très résistant à la torsion.

Le rayon de courbure de la tôle de bordé amont est égal à 2,5 fois la hauteur utile du clapet, soit environ 6,75 m. Le rayon de courbure de la tôle de bordé aval est égal à 0,55 fois la hauteur utile du clapet, soit environ 1,49 m. La masse du tablier est de 14,1 tonnes environ.

Les deux bordés sont raidis par des raidisseurs longitudinaux de façon à éviter le voilement du caisson et résister à la poussée de l'eau sur le bordé amont.

Le caisson de torsion sera ouvert et marnant afin d'éviter qu'il se comporte comme un flotteur. Des orifices d'évent et de vidange éviteront à l'eau de rester à l'intérieur du caisson, mais aussi à l'air de rester piégé en partie haute. Plusieurs trappes de visite obturées par des grilles permettront l'accès à l'intérieur du caisson pour effectuer les contrôles périodiques et les remises en peinture.

La partie inférieure du tablier est constituée par une portion de tube et sert de portée d'étanchéité au joint de seuil.

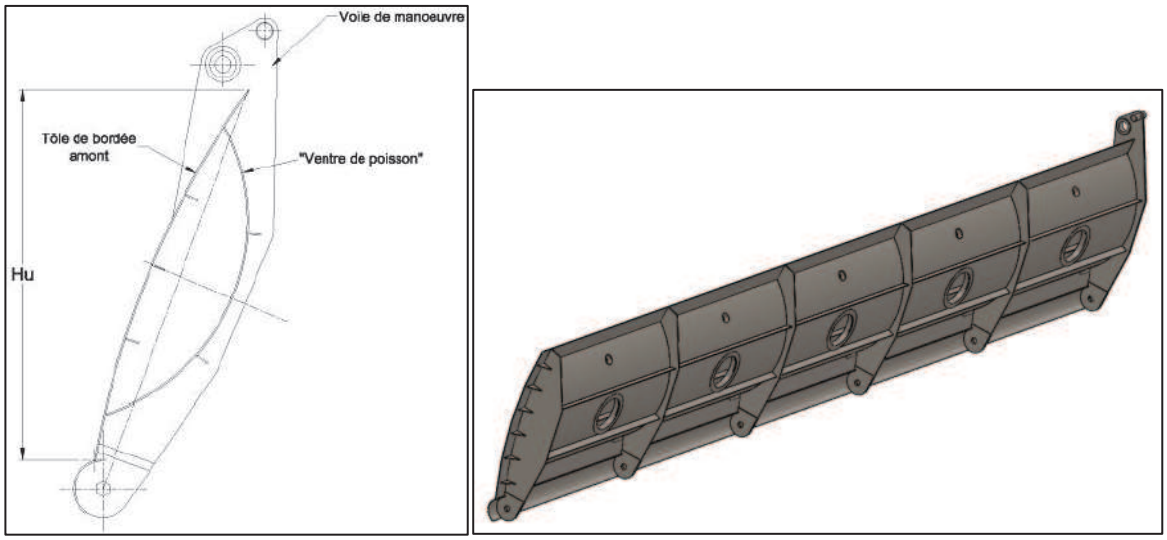


Fig. 25. Principe du tablier utilisé dit « à ventre de poisson » (VNF)

La section de torsion s'appuie sur des paliers au moyen de montants verticaux disposés au droit de chaque articulation. Dans leur partie inférieure, l'épaisseur des tôles des montants d'articulation est augmentée afin de transmettre les efforts dans les paliers.

Le montant de commande, situé à l'extrémité du clapet, est relié au vérin par un assemble tenon – chape. Il transmet l'effort de manœuvre à l'ensemble de la structure en s'appuyant sur le palier principal situé à son pied.

A l'extrémité supérieure du montant de commande, un axe soudé permet l'accrochage du verrou de chômage position haute.

L'arête supérieure du bordé amont est munie de brise-lames particulièrement soignés (forme de losange), destinés à fractionner la lame d'eau jusqu'au pied du barrage et éviter toute mise en vibration du clapet. En complément, des aérateurs de conception différente (type tôle plate avec engravure dit « peigne ») sont également prévus pour fractionner les lames minces. Tous ces aérateurs sont boulonnés sur le bordé et non soudés, afin de simplifier leur remplacement suite à d'éventuels dommages.

Lorsque l'épaisseur de la lame d'eau de surverse noie les aérateurs, l'aération est réalisée par les conduits prévus dans le génie civil des piles.

Toutes les structures constituant le tablier du clapet sont réalisées en acier au carbone de nuance S355 avec une classe de résilience J2. Elles sont protégées contre la corrosion par un système de peinture certifié ACQPA d'une catégorie de corrosivité Im2, adaptée à l'application marnante.

9.1.3. Paliers

Les montants des clapets sont axés à l'aplomb d'articulations afin de permettre la rotation de la structure sur le génie civil et de répartir les efforts.

Chaque articulation est un système dont le tenon est le montant et où la chape est le palier.

Les paliers seront conçus suivant les recommandations du programme Lubaqua, en particulier le fascicule STC.QG n° 95.01- Les articulations et paliers. Cette conception est également promue par le dossier type clapet VNF. Dans notre application, les paliers utilisés sont de type Lubaqua 60, 60 étant l'effort en tonne qu'ils sont capables de supporter.

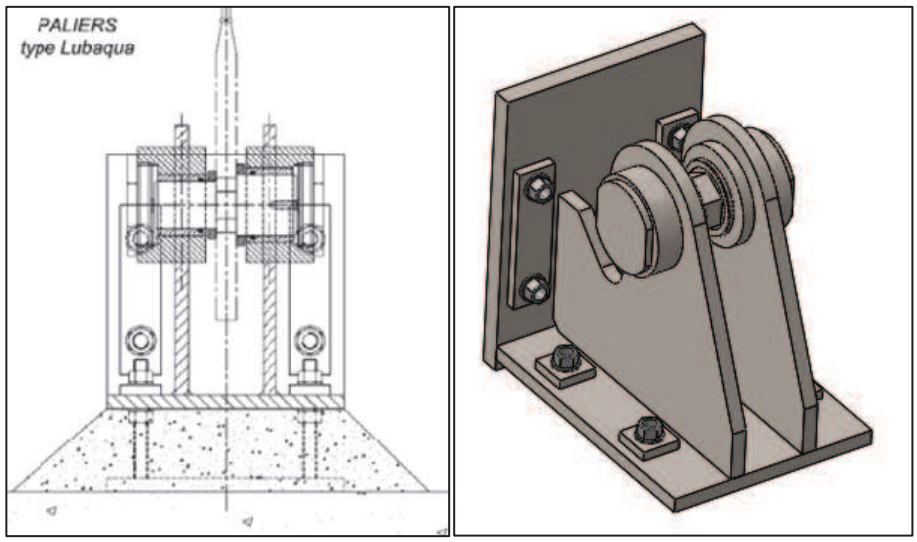


Fig. 26. Principe du palier type « Lubaqua » 60 tonnes (VNF)

La chape est équipée de bagues autolubrifiantes en bronze avec inserts de lubrification solides incorporés (en graphite ou équivalent). Néanmoins, un graissage au montage sera prévu. Les étanchéités prévues autour des bagues contiennent la graisse dans les paliers et préviennent des infiltrations d'eau et de fines.

La fiabilité des graisseurs immergés dans l'eau n'étant pas garantie, des couvercles vissés sont prévus dans le dossier type.
L'axe étagé en acier inoxydable tourillonne dans la chape et est fixé au clapet par une liaison prismatique (hexagone) avec un jeu de montage. Ce jeu permet de compenser l'hyperstatisme généré par l'alignement de 6 paliers.

Le palier central de chaque clapet est bloqué axialement au moyen de deux rondelle-butées en bronze. Les autres paliers disposent d'un jeu axial entre le tenon et la chape afin de permettre la dilatation du clapet et les incertitudes de montage.

Les paliers sont ancrés dans le génie-civil à l'aide de tirants d'ancrage, après un réglage d'alignement précis réalisés avant le coulage du béton 2ème phase facilités par la présence de trous oblongs sur les platines. Après séchage les tirants sont mis en prétention.
Les paliers sont réalisés en acier dans la même nuance que les clapets. Ils sont protégés contre la corrosion par un système de peinture identique à celui du clapet. Les têtes des tirants d'ancrage des paliers sont protégées par des capots étanches remplis lors du montage d'un produit de protection compatible avec la durée de vie de l'ouvrage (cire ou équivalent) et la présence des trous oblongs.

9.1.4. Châssis support vérins

La manœuvre de chaque clapet est réalisée par l'intermédiaire d'un vérin oléo-hydraulique unique tout en restant dans le cadre du dossier type VNF (largeur du clapet < 18 m). La présence d'un seul vérin évite également le délicat problème de la synchronisation de plusieurs organes de manœuvre.

Bien que cela ne soit pas requis par la Dossier type clapet VNF dans le cas de vérin unique par clapet, chaque vérin est ici monté sur un système de cardan appuyé sur un châssis mécano-soudés lui-même en appui sur la pile ou la culée.

Deux types de châssis sont prévus :

- 1 châssis « double » de la pile centrale qui supporte 2 vérins,
- 2 châssis « simples » des culées, qui supportent uniquement un vérin.

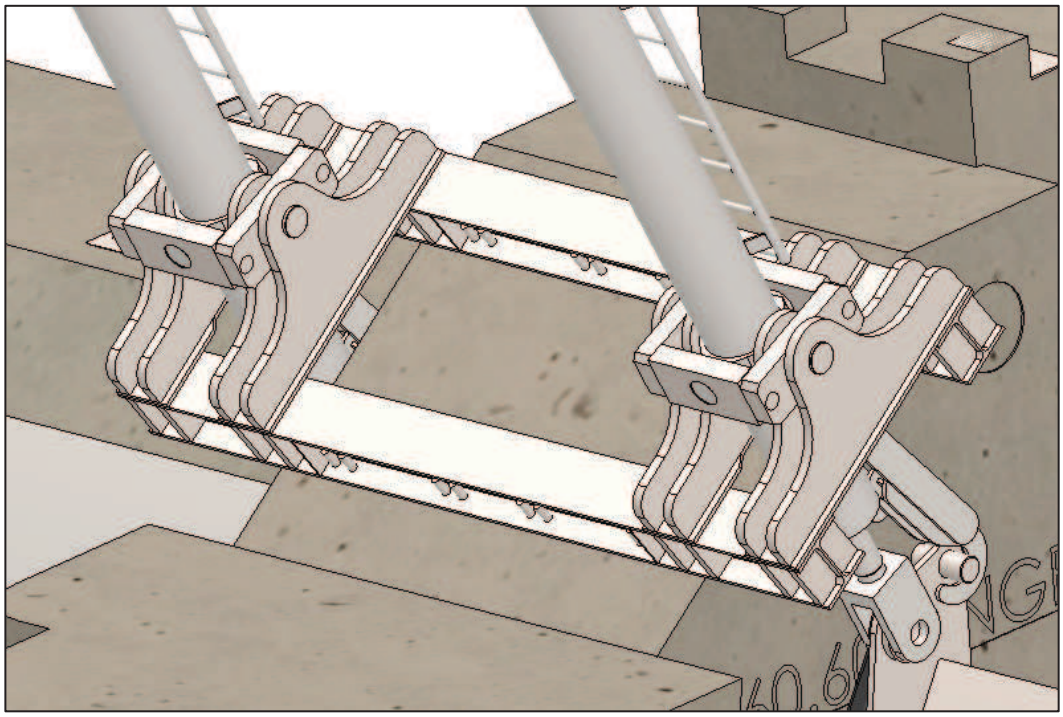


Fig. 27. Aperçu du châssis double

Pour chacun de ces châssis, les articulations entre le vérin et le cardan ainsi que celles entre le cardan et le châssis sont équipées de bagues en bronze graissées et d'axes étagés en acier inoxydable. Des graisseurs seront prévus au niveau de chaque bague pour effectuer leur lubrification.

Toutes ces articulations seront accessibles pour permettre leur contrôle périodique par les agents d'entretien et d'exploitation, et leur graissage au besoin.

Les châssis support vérins sont ancrés dans le génie civil des piles à l'aide de tirants d'ancrage largement dimensionnés.

Des dispositions constructives sur ces châssis permettront de supprimer toutes les possibilités de rétention d'eau dans leur structure.

Les têtes des tirants d'ancrage des paliers sont protégées par des capots étanches avec les mêmes dispositions et précautions que pour l'ancrage des paliers.
Les cardans des vérins sont positionnés hors d'eau à la cote PHEC, ce qui les protèges de l'immersion mais également des embâcles flottants.

Les châssis support vérins sont réalisés en acier dans la même nuance que les clapets. Ils sont protégés contre la corrosion par un système de peinture certifié ACQPA d'une catégorie de corrosivité C4 adaptée à l'application (ici non marnante).

9.1.5. Verrous de chômage position haute

Le dispositif de verrouillage en position haute est constitué par un crochet double articulé sur le châssis support vérin. Ce crochet vient crocheter l'axe soudé en partie supérieure du montant de commande du clapet.

En position de verrouillage, l'arase supérieure du clapet est caler à la cote RN + 0.2 m.

En période normale d'exploitation, le crochet est maintenu relevé au moyen d'un câble en acier inoxydable reliés à un support fixe. Ce support reçoit un treuil manuel permettant la manœuvre d'abaissement du crochet lors d'une mise en chômage de la bouchure.

Puisque la manœuvre d'ouverture du clapet s'effectue gravitairement (le vérin de type double effet n'est utilisé qu'en simple effet pour la rentrée de tige - avec présence de gavage sur la chambre supérieure), la présence accidentelle du crochet n'est pas problématique. Elle interdit néanmoins dans ce cas incidentel l'ouverture de la vanne. Un détecteur de fin de course permet de connaitre la position du verrou de chômage.

Les composants ci-dessus, également en acier de construction au carbone de nuance S355, sont protégés contre la corrosion par un système de peinture similaire à celui utilisé pour les châssis supportant les vérins.

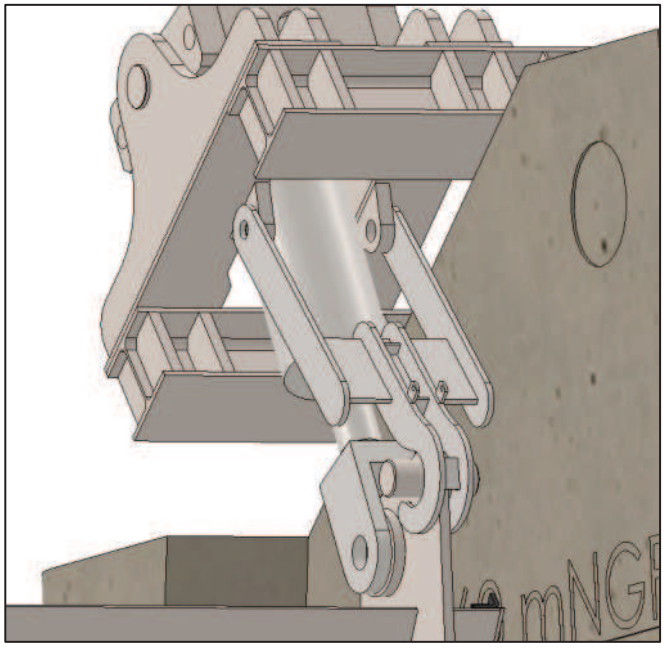


Fig. 28. Aperçu du verrou de chômage

9.1.6. Butées d'appui en position basse

En maintenance, les clapets peuvent venir se reposer sur deux butées métalliques ancrées sur le fond du radier, sur chaque passe. Dans cette position, la corde des clapets est proche de l'horizontale.

Ces butées, ancrées sur chaque rive, sont réglables par calage afin de compenser d'éventuels défauts de positionnement.

9.1.7. Dispositifs d'étanchéités

Les étanchéités de chaque clapet sont réalisées de la façon suivante :

- Au seuil : au moyen d'un joint plat souple en élastomère, porté par une pièce fixe scellée dans le génie-civil du seuil et fixé pour son réglage sur les plaques arrières des paliers, et s'appuyant sur la tôle cylindrique soudée en partie basse du clapet ; le joint est protégé contre les embâcles au moyen d'une tôle pliée ;
- Sur les bajoyers : au moyen d'un joint cornière souple en élastomère, de type « joint préformé à 120° », s'appuyant sur un revêtement de résine appliquée sur les bajoyers du barrage, bajoyers dont la planéité aura été réalisée avec soin.

La continuité d'étanchéité entre les joints latéraux et le joint de seuil est obtenue au moyen d'un bloc néoprène découpé et d'un joint plat fixé sur la face aval de la partie inférieure du tablier.

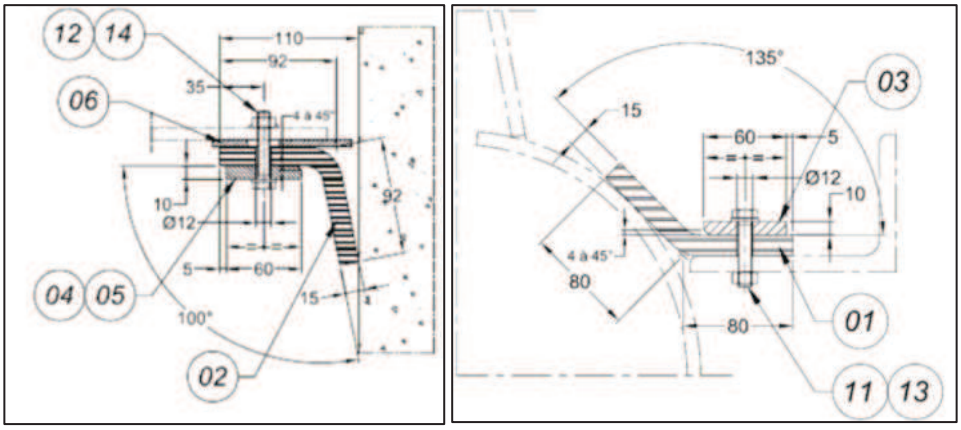


Fig. 29. Principe d'étanchéité latérale (à gauche) et de seuil (à droite)

Tous les joints sont montés sur des plats de soutien réglable en acier inoxydable dont le rôle est de porter le joint au plus près de la surface d'appui en franchissant le jeu de construction entre les tôles du clapet et la surface d'appui du joint.

L'ensemble, constitué du joint et de son porte-joint, est pressé et fixé par un plat de serrage en acier inoxydable. L'écartement des vis est de 150 mm au maximum.
Les fixations sont réalisées avec de la boulonnerie en acier inoxydable avec une attention portée sur le grippage.

9.2. ORGANES DE MANŒUVRE DES CLAPETS

9.2.1. Présentation générale

Les clapets sont chacun manœuvrés par un vérin oléo-hydraulique placés sur une des piles.
La course utile de ces vérins est d'environ 3,54 m correspondant à la différence de longueur de sortie de tige, entre la position extrême basse (clapet sur les butées basses de maintenance) et la position extrême haute (position permettant la mise en place des verrous de chômage position haute).

Les vérins auront une réserve de course d'environ 200 mm en complément de la course utile définie ci-dessus, ceci afin de tenir compte des tolérances de réalisation des ouvrages et garantir que :

- les vérins sont soulagés lorsque le clapet repose sur les butées position basse,
- les pistons des vérins n'arrivent pas en butée haute pour la positon de mise en place des verrous de chômage position haute.

La vitesse de manœuvre des vérins est fixée à 120 mm/min. Par conséquent, les temps de manœuvre ouverture et fermeture des clapets seront légèrement inférieurs à 1/2 heure.

D'un point de vue conception, les principales caractéristiques des vérins sont les suivantes :

- diamètre alésage : 320 mm
- diamètre tige : 140 mm
- type : vérin double effet, gamme 160 bars,
- vérin immergeable,
- fixation tige : chape femelle vissée sur tige,
- fixation cylindre : articulation à tourillon sur corps,
- étanchéité de la tige : joints chevron + racleur bronze,
- revêtement et matière tige : acier inoxydable et revêtue d'une sous-couche de nickel et d'une couche de chrome ou acier non allié avec revêtement par projection thermique.
- matière tourillons : acier inoxydable,
- revêtement corps : système de peinture certifié ACQPA de catégorie de corrosivité adapté à l'application.

Pour rattraper les défauts de parallélisme entre vérins et montants de commande de clapets, ces liaisons sont réalisées au moyen de rotules. Les axes de liaison sont prévus en acier inoxydable. Le montage des rotules est complété par des capots assurant protection et étanchéité.

L'ensemble de guidage et d'étanchéité de la tige est équipé d'un dispositif de raclage permettant d'éliminer, lors de la rentrée de tige, le gel ou la glace qui se seraient formés.

La conception de cet ensemble rend possible le changement des joints et du dispositif de raclage sans dépose complète du vérin (nez de vérin démontable).

9.2.2. Equipements des vérins

Chaque vérin est équipé des composants suivants :

- un bloc foré de sécurité directement flasqué sur l'orifice du vérin coté tige. Ce bloc foré intégrera les fonctions de sécurité en cas de surpression dans la chambre annulaire du vérin par un limiteur de pression et la fonction de maintien de la charge par une valve d'équilibrage à pilotage hydraulique externe.
- un bloc foré de raccordement entre les alimentations flexibles de commande de montée et de descente et les tuyauteries rigides de liaison vers les orifices du bloc foré de sécurité et vers l'orifice de la chambre coté fond. Ce bloc foré comprendra :
    - deux transmetteurs de pression analogiques (un transmetteur pour chaque chambre du vérin). Ces transmetteurs de pression auront pour fonction de signaler l'augmentation anormale de la pression dans le vérin. Ils permettront à l'automate, de calculer en temps réel l'effort de manœuvre du vérin et de vérifier le non flambage des vérins (ouverture sur obstacles ou sur butées basses, etc).
    - un limiteur de pression pour la chambre coté fond du vérin.
    - deux vannes d'isolement (verrouillables par cadenas) situées en entrée de ce bloc,
    - deux prises de pression (de type « *Minimess®* » ou équivalent), pour le raccordement de manomètres mobiles permettant de visualiser la pression dans chacune des chambres,
    - un gicleur assurant le réglage d'une vitesse de manœuvre constante en cas de descente en mode gravitaire,
    - une vanne de by-pass flasquée permettant d'effectuer manuellement ce mode dégradé.
- un transmetteur analogique de position interne au vérin, soit comportant un enrouleur à câblette (de type SDEM®, la cablette étant relié à la tige du vérin côté piston), soit de type LVDT pour « *Linear Variable Differential Transformer* » (de type BALLUFF® ou équivalent) avec un noyau relié au piston du vérin et la tige du capteur fixée sur le fond du corps.

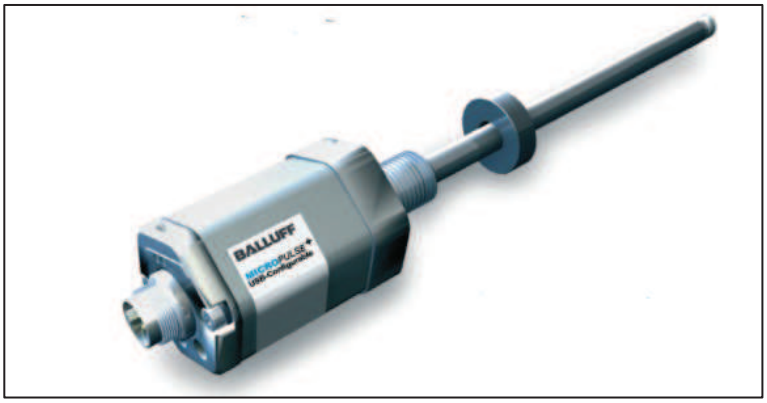


Fig. 30. Aperçu d'un capteur LVDT (BALLUF)

- des détecteurs de fin de course permettant de détecter les positions caractéristiques suivantes :
    - la position haute de régulation,
    - la position basse de régulation, lorsque que le clapet atteint ses butées basses de maintenance,
    - la position haute permettant la mise en place des verrous de chômage position haute.

Compte-tenu des imprécisions de montage des vérins, la position de déclenchement des contacts de fin de course sera réglable. Ces capteurs seront protégés des intempéries et des éventuels embâcles.

- une échelle d'accès, fixée au corps du vérin, sans crinoline, nécessitant l'usage d'EPI pour son utilisation.

9.2.3. Architecture et centrale oléo-hydraulique

9.2.3.1. SCHEMA DE PRINCIPE

Ci-dessous le schéma type simplifié pour un vérin simple effet en tirant :

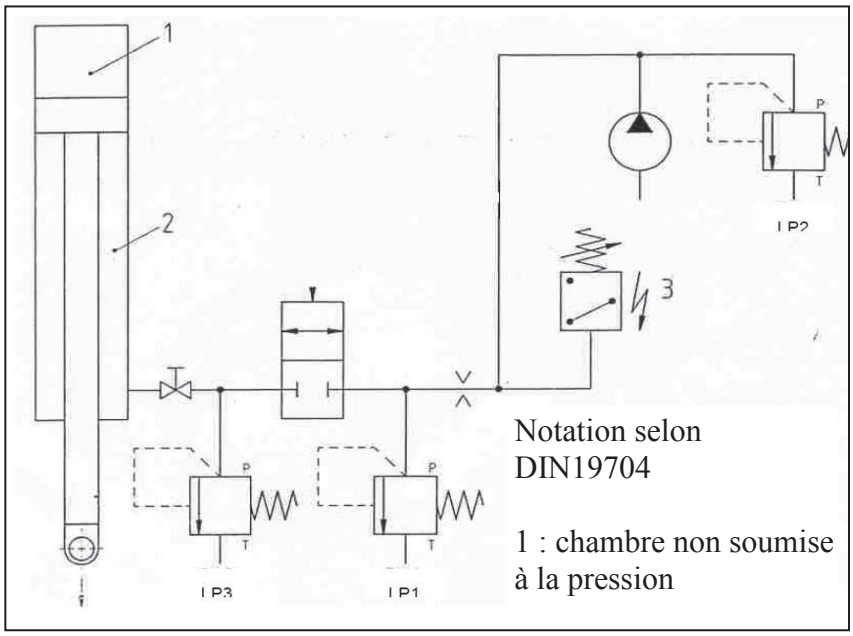


Fig. 31. Schéma type simplifié (extrait norme DIN 19704)

9.2.3.2. COMPOSITION

La centrale oléo-hydraulique projetée comprend principalement des composants suivants :

- un réservoir en acier inoxydable muni d'un dispositif de remplissage et de vidange et d'une indication visuelle du niveau d'huile,
- un bac de récupération des fuites, construit en acier inoxydable et sera muni d'une vanne de vidange, d'un volume suffisant pour contenir la totalité de l'huile de la centrale hydraulique,
- un contacteur de détection de niveau d'huile trop bas,
- un filtre sur le circuit retour de maille 25µm avec indication électrique de colmatage,
- une prise d'air avec filtre dessiccateur,
- une résistance chauffante pour l'huile,
- deux moteurs électriques de puissance unitaire de 2 kW environ, entraînant chacun une pompe à engrenage munie d'une crépine d'aspiration dont la maille sera de 125 µm. les groupes motopompes démarreront en alternance afin de répartir leur usure. en cas de défaillance d'un groupe, un dispositif automatique de basculement sur l'autre groupe est prévu ;
- une pompe manuelle de secours,
- un limiteur de pression général dont la valeur de calage sera égale à la pression maximale de fonctionnement de l'installation. il est situé au plus près de la pompe,
- un ensemble d'électrodistributeurs pour la manœuvre des clapets et de la vanne amont d'isolement de la passe à poissons,
- une vanne d'isolation sur chaque conduit hydraulique,
- un pressostat de sécurité permettant de détecter une pression de fonctionnement anormalement haute, la valeur de calage de ce pressostat sera 10 bars inférieure à la valeur de calage du limiteur de pression général. le pressostat permettra aussi de détecter une pression anormalement basse afin de détecter une défaillance de groupe,
- une prise de pression type « *Minimess*® » ou équivalent au départ de chaque conduit hydraulique,
- un manomètre avec robinet d'isolement,
- un orifice de remplissage équipé d'un raccord rapide type *push-pull*,
- un groupe de remplissage avec le dispositif de filtration adapté,
- un ensemble de deux raccords rapides de type *push-pull* pour la connexion d'un groupe hydraulique de secours,
- une boîte à bornes pour le raccordement des équipements électriques de la centrale hydraulique.
- Ci-dessous un exemple de centrale similaire :



Fig. 32. Exemple d'une centrale similaire (image SPRETEC)

- Dans le cadre du projet, il est à noter que les ensembles de distribution sont prévus déportés sur la passerelle au plus près des vérins en raison des linéaires important entre le local est le clapet le plus éloigné. Cette disposition limite également l'ampleur des réseaux avec seulement une nourrice d'alimentation et un retour d'huile.
- Ci-après un exemple de coffret accueillant un distributeur :



Fig. 33. Exemple d'un coffret de distribution déporté (image SPRETEC)

9.2.3.3. TYPE D'HUILE

L'huile utilisée pour l'installation oléo-hydraulique sera conforme à la circulaire VNF sur les lubrifiants biodégradables (cf. circulaire technique). Ce type d'huile étant plus corrosive qu'une huile minérale, le choix des composants sensibles du système hydraulique (distribution, pompe, filtres, joints...) sera réalisé en tenant compte de cette contrainte.

9.2.3.4. CENTRALE OLEO-HYDRAULIQUE PROVISOIRE

Il est à noter qu'une centrale oléo-hydraulique provisoire devra être utilisée pour les essais et la réception provisoire des deux premières passes exécutés dans la première saison des travaux puisque ces passes sont prévues en Rive Gauche et que les liaisons sur la passerelle ne seront pas opérationnelles. Cette centrale pourra être une centrale du commerce louée.

9.2.4. Raccordements hydrauliques

Les tuyauteries de transport de l'huile sous pression seront constituées par des tubes en acier inoxydable sur la totalité de leur longueur.

Elles seront raccordées entre elles par soudures lorsque cela est possible. Sinon, les raccords utilisés seront également en acier inoxydable.

Pour la traversée des passes du barrage, les tuyauteries hydrauliques transiteront sous les caillebotis des passerelles, supportés par des colliers de type STAUFF®. La distribution sera réalisée sur les piles comme sur l'exemple ci-dessous :



Fig. 34. Exemple de supportage au niveau d'une culée (image SPRETEC)

Les tuyauteries resteront donc accessibles au besoin avec le retrait possible des caillebotis.

Des portions de tuyauterie flexible sont prévues :

- au départ de la centrale hydraulique pour absorber les coups de bélier de démarrage,
- à l'arrivée sur les vérins hydrauliques afin d'accompagner leurs déplacements angulaires.

Les portions de tuyauteries flexibles situées à l'air libre seront protégées par des gaines de type « ressort » en acier galvanisé. Les tuyauteries flexibles sont équipées à chacune de leurs extrémités de raccords sertis. Les flexibles dont la rupture présente un risque corporel pour les personnels seront attachés sur un point fixe de l'ouvrage par un câble anti-fouet.

9.3. PASSERELLE DE FRANCHISSEMENT

9.3.1. Description générale

La passerelle de franchissement du barrage, ainsi que ces accès en rive seront réalisées à l'aide de 5 travées métalliques autoporteuses et indépendantes, et d'une plateforme en RD permettant le changement de d'orientation.

Cette passerelle dessert les piles et les culées de l'ouvrage afin d'en permettre les accès nécessaire à l'exploitation et à la maintenance. En RD elle permet également le franchissement de la passe à poissons.

L'intrados de la passerelle est calé à 0,9 m au-dessus des PHEC selon la demande de VNF.

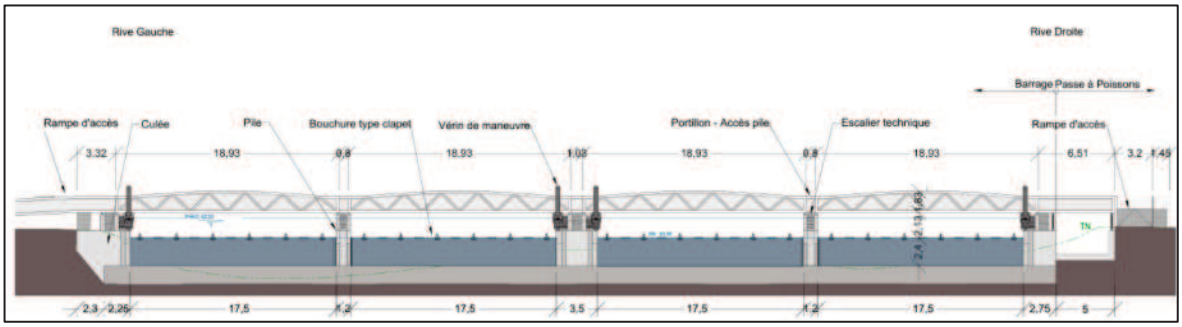


Fig. 35. Barrage et passerelle vue de l'amont

L'équipement est initialement une passerelle uniquement technique mais elle est conçue de manière à ce qu'elle soit adaptable par la suite à un usage mixte.

Les accès initiaux seront des escaliers mais les structures seront conçues et réalisées de manière à pouvoir ajouter des rampes pour le rendre accessible aux piétons (y-compris PMR) et aux cyclistes.

9.3.2. Travées de la passerelle

Les travées prévues sont réalisées avec une section en U, avec deux treillis de type Warren. L'inertie des sections est variable, avec un maximum atteint en milieu de portée.

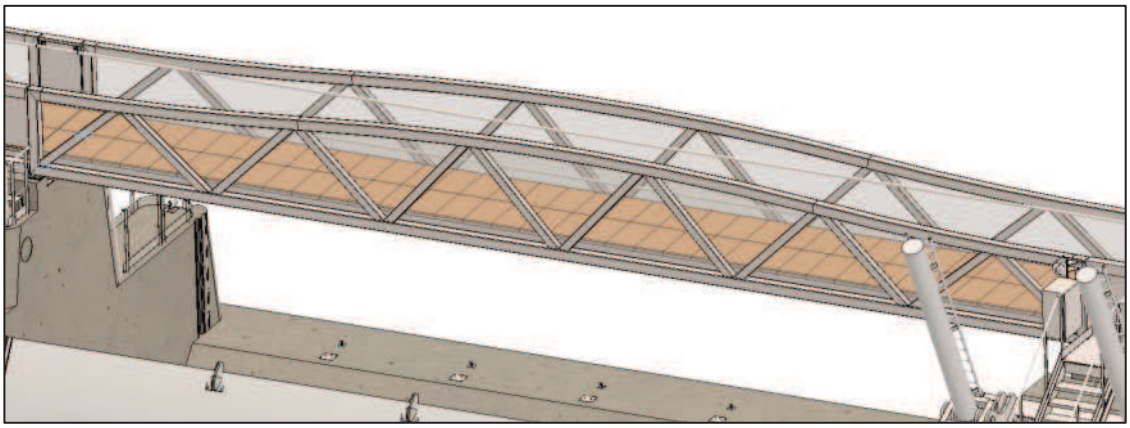


Fig. 36. Travée type sur une passe du barrage

La largeur utile prévue est de 1,60 m (valeur prise entre les mains courants). Au sol, la largeur est proche de 1,70 m

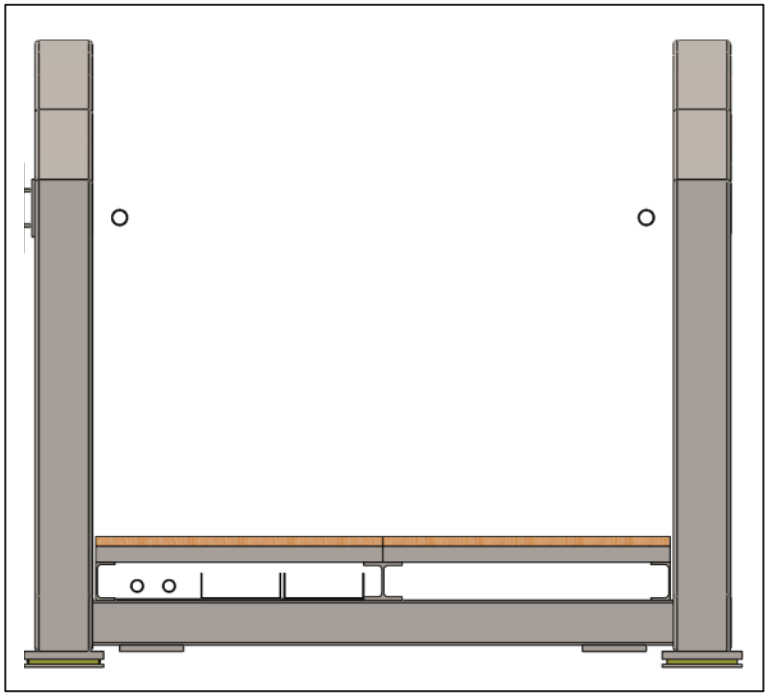


Fig. 37. Section type de chaque travée

Les travées sont autoporteuses et indépendantes, comportant chacune 4 zones d'appuis se service et 4 zones d'appuis de maintenance permettant le soulèvement de la travée. Les zones d'appuis de service comprennent un appareil d'appui réalisé à base d'élastomère. Ces appuis peuvent être remplacés au besoin par le vérinnage de la travée.

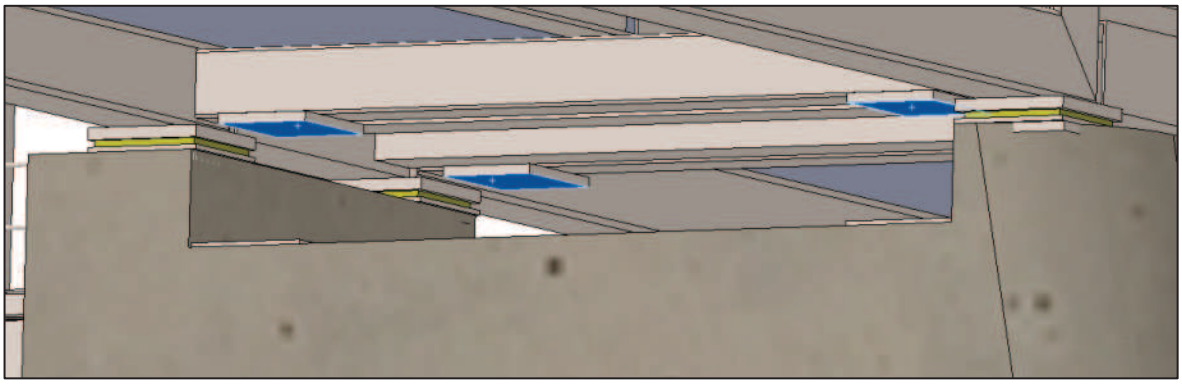


Fig. 38. Appareils d'appui et zone de vérinnage

Les travées de passerelle sont isostatiques afin de permettre notamment la dilatation dans les deux directions sur plan horizontal et d'éviter ainsi la transmission d'efforts néfastes.

Pour se faire :

- une zone est latéralement fixe,
- 2 zones permettent un seul déplacement,
- une zone permet le déplacement dans les deux directions.

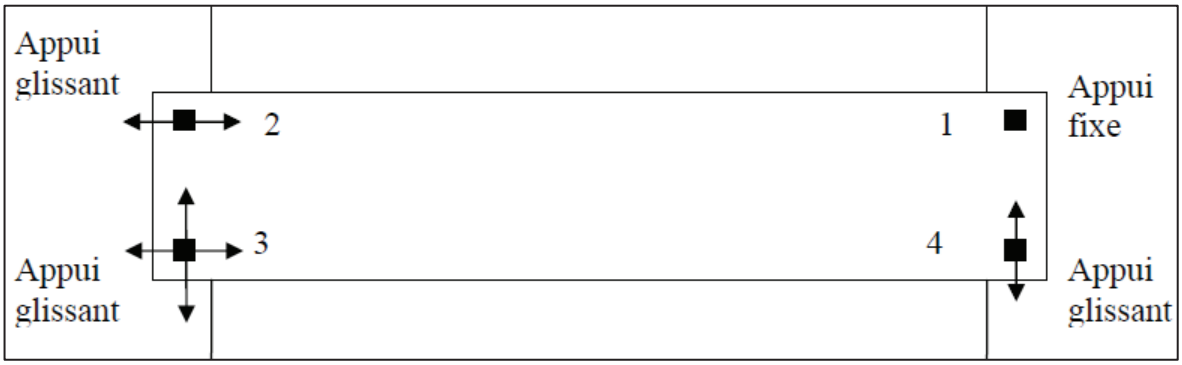


Fig. 39. Isostatisme de chaque travée

La dilatation est évaluée sur les travées principales à environ +/- 7 mm à chaque extrémité, pour une différence de température de 70°C. Pour la travée de la passe à poissons ou bien celles des rampes, cette dilatation est réduite de moitié.

La passerelle accueille les réseaux (électriques et huile) alimentant les organes présents sur les piles et culées. **Il n'est pas prévu le franchissement de réseaux autre que ceux nécessaires au fonctionnement du barrage.** Ces réseaux sont logés entre les traverses de la structure et le platelage. Une tôle de fermeture en partie inférieure prévient des chutes et protège les réseaux d'éventuels embâcles en cas de crue.

Le revêtement initial est un caillebotis métallique portant, démontable, disposés en deux bandes indépendantes. Chaque panneau pèse moins de 25 kg. Ces caillebotis peuvent donc être partiellement démontés afin de permettre notamment l'accès aux réseaux, sans risque de chute.

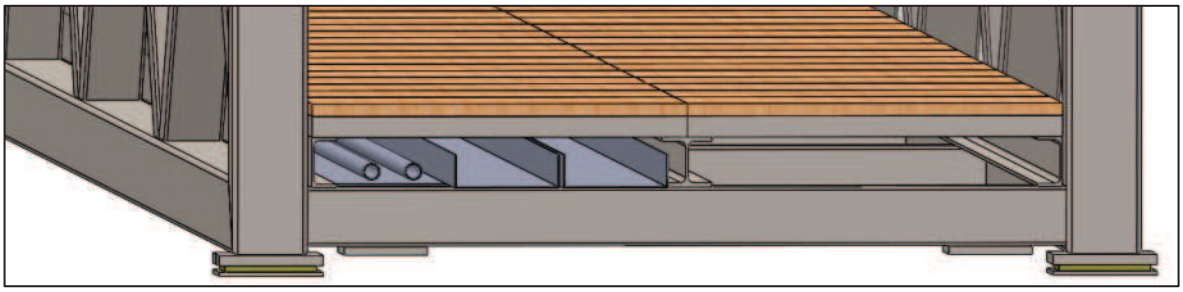


Fig. 40. ***Platelage et passage des réseaux***

Les structures métalliques constituant les travées sont prévus réalisées en acier au carbone de nuance S355 K2. La protection contre la corrosion de la passerelle est prévue réalisée par une peinture anticorrosion certifiée ACQPA de catégorie C4.

9.3.3. Equipement et accès prévus en rives pour un usage technique

Les garde-corps de la passerelle sont réalisés par la structure elle-même en présence des treillis latéraux, avec une hauteur variable comprise entre 1,15 m et 1,75 m par rapport au sol initialement (hauteur à réduire de 30 mm après mise en accessibilité publique : présence d'un platelage).

La passerelle comprend des mains courantes dimensionnés pour atteindre la hauteur de 1 m au minimum, y-compris avec la présence future d'une surépaisseur induite par l'ajout d'un revêtement bois pour l'usage publique

Les portillons sont positionnés entre la passerelle et les escaliers d'accès aux piles et aux culées, tant à l'amont qu'à l'aval.

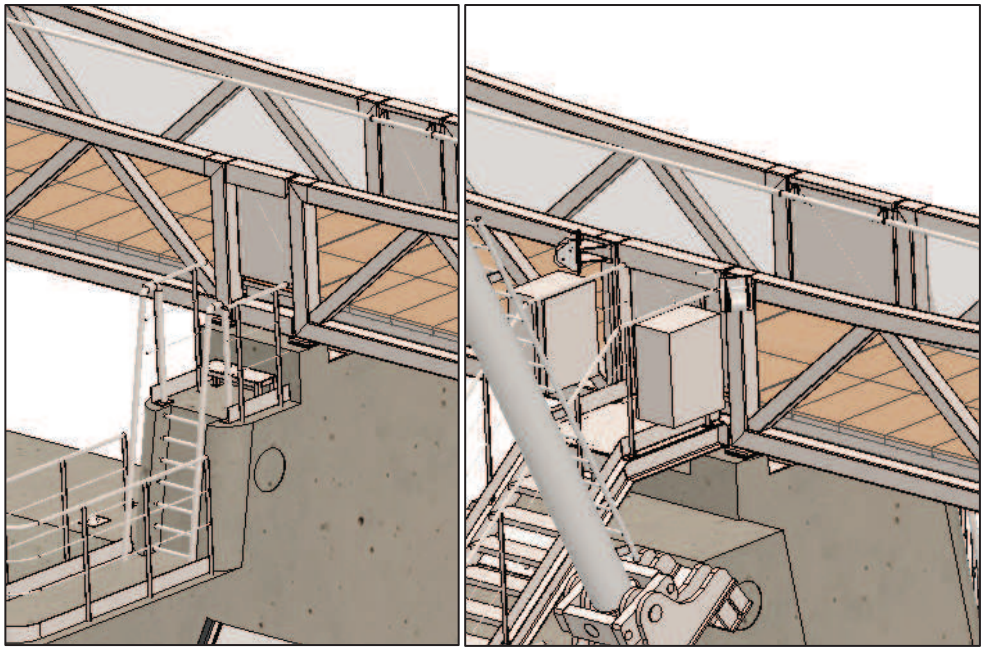


Fig. 41. ***Portillons d'accès sur différentes piles***

En rive droite, une plateforme supporte la travée qui franchit la passe à poissons ainsi qu'un escalier orienté vers le local technique coté aval.

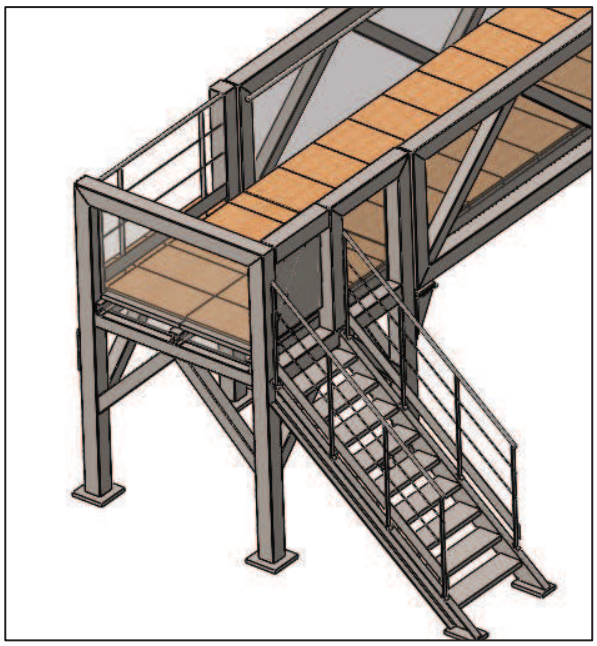


Fig. 42. Plateforme en RD et escalier

Cette plateforme sera réutilisée dans modification pour un usage futur de type mixte.

9.3.4. Equipement et accès futurs en rives pour un usage mixte

Dans la configuration future à usage mixte (avec public), la passerelle sera accessible aux piétons (y-compris PMR et aux cyclistes). Pour cela, sa largeur utile sera conservée et des rampes d'accès seront installées sur chacune des rives, sans retrait des escaliers. L'inclinaison de ces rampes est prévue à 4%, valeur limite permettant de ne pas intégrer de paliers.

Ces rampes seront constituées de travées indépendantes similaires à la travée franchissant la passe à poissons.

Le revêtement futur prévu est un platelage bois antidérapant non porteur. Il sera posé sur les caillebotis existants afin d'adapter la passerelle à un usage mixte, dans un souci d'opacité et d'esthétique.

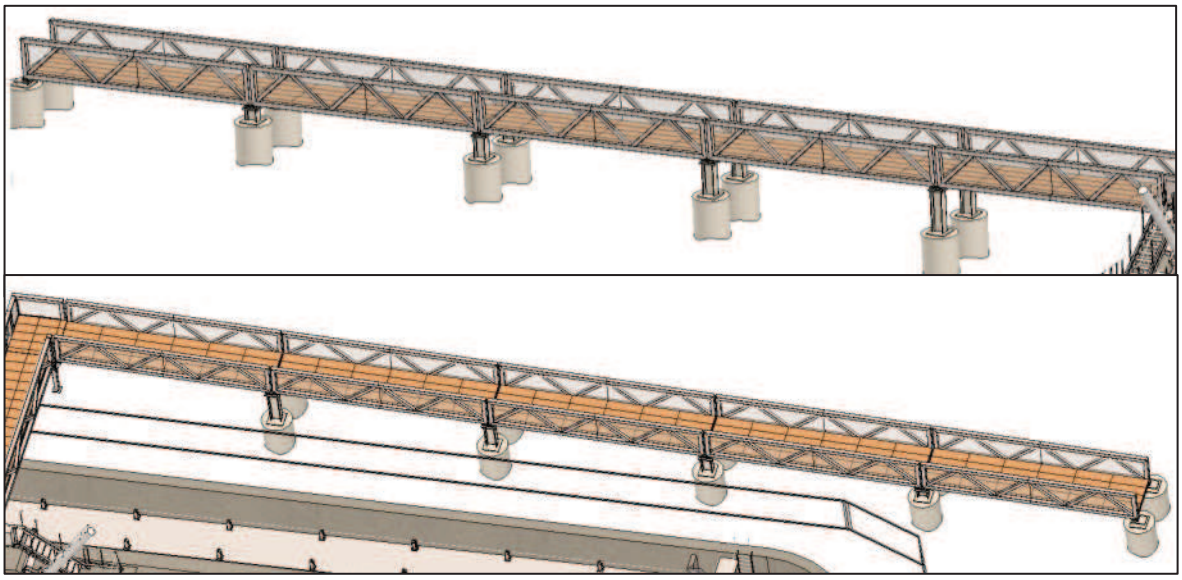


Fig. 43. ***Rampes d'accès à la passerelle en rive gauche et rives droites***

Fig. 44.

9.4. DISPOSITIFS D'ACCES (HORS PASSE A POISSONS)

9.4.1. Accès à la pile centrale est aux culées

Les escaliers de service permettent l'accès de la passerelle à l'amont de la pile centrale et à l'amont des culées. Ils ne sont pas accessibles au public car fermés par un portillon condamnable.

L'accès d'exploitation à la RG est prévu en utilisant l'escalier de la culée RG.

Chaque escalier comporte une travée unique portante appuyée à ses deux extrémités sur la pile.

La largeur de passage est de 0,80 m. Les garde-corps, d'une hauteur de 1,10 m conformément à la Directive Machine CE sont en acier galvanisé. Ils sont renforcés à l'extrémité amont de la pile pour supporter les embâcles en cas de crue.

L'aval de chaque pile est accessible à l'aide d'une échelle incrustée dans la pile. Les gardes corps protégeant des chutes sont amovibles dans un but esthétique mais également afin qu'ils ne soient pas malmenés durant les crues, en présence d'embâcles. Une 2^{e} échelle permet de descendre jusqu'à l'aval radier, notamment afin d'installer le batardeau aval de maintenance.

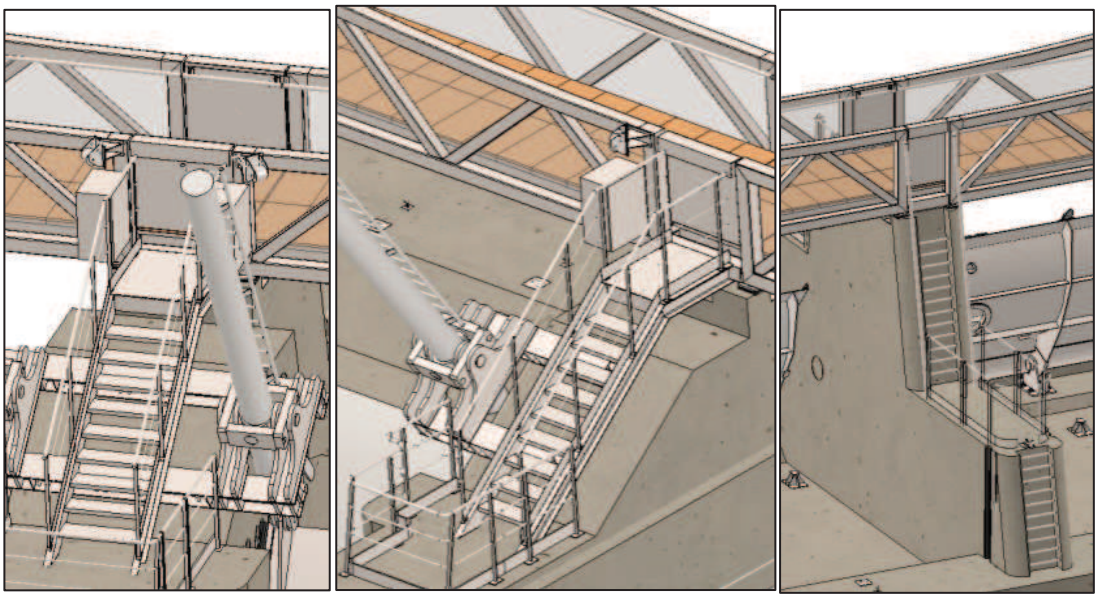


Fig. 45. Portillons d'accès sur la pile centrale et les culées

9.4.2. Accès à la tête des vérins

Depuis la base des escaliers décrits ci-dessus, l'accès aux capteurs des vérins sont aménagés à l'aide d'échelles sans crinoline comme précisé par ailleurs. L'utilisation de ces accès nécessite donc le port d'EPI. Cet accès est visible sur la figure précédente.

9.4.3. Accès aux piles étroites

Sur les piles étroites, dont l'accès est beaucoup moins fréquent, les accès s'effectuent à l'aide d'échelles incrustées tant à l'amont qu'à l'aval de la passerelle. Des garde-corps amovibles sont présents à l'aval, ceux de l'amont étant fixes.

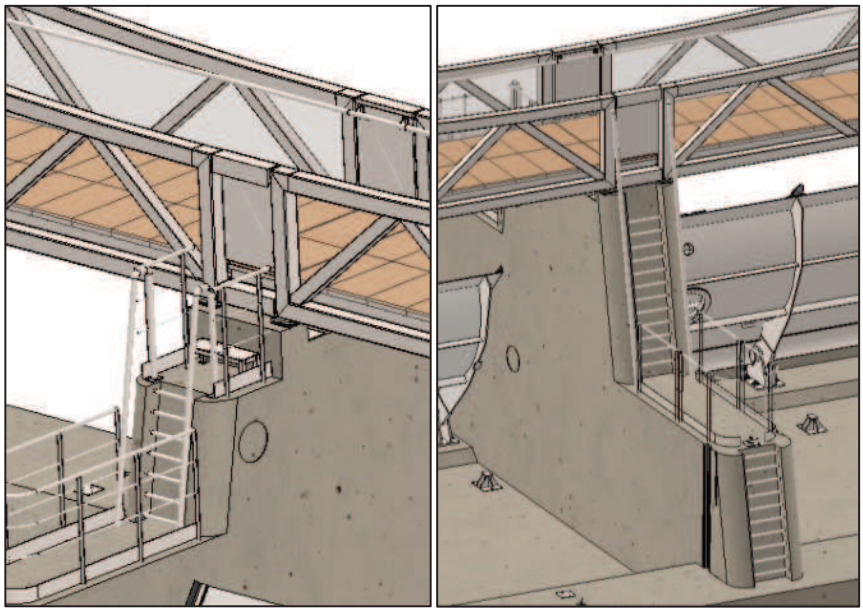


Fig. 46. ***Portillons d'accès sur les piles étroites, à l'amont et à l'aval***

9.5. BATARDEAU DE MAINTENANCE

9.5.1. Présentation générale des équipements de batardage

Pour rappel les équipements de batardage prévus au projet permettent de mettre à sec en autonomie chacune des 4 passes du barrage, une à une. Ces équipements comprennent :

- le batardeau amont, principalement constitué d'une poutre flottante horizontale et un rideau d'aiguilles en aluminium disposé proche de la verticale
- le batardeau aval, principalement constitué de potelets verticaux et de poutrelles horizontales en aluminium ;
- les équipements additionnels nécessaires aux opérations de batardage (pompe d'épuisement, moyens d'accès provisoire, etc.)
- les équipements permettant le stockage des batardeaux,
- les équipements permettant l'amenée des éléments de batardeaux sur chaque passe.

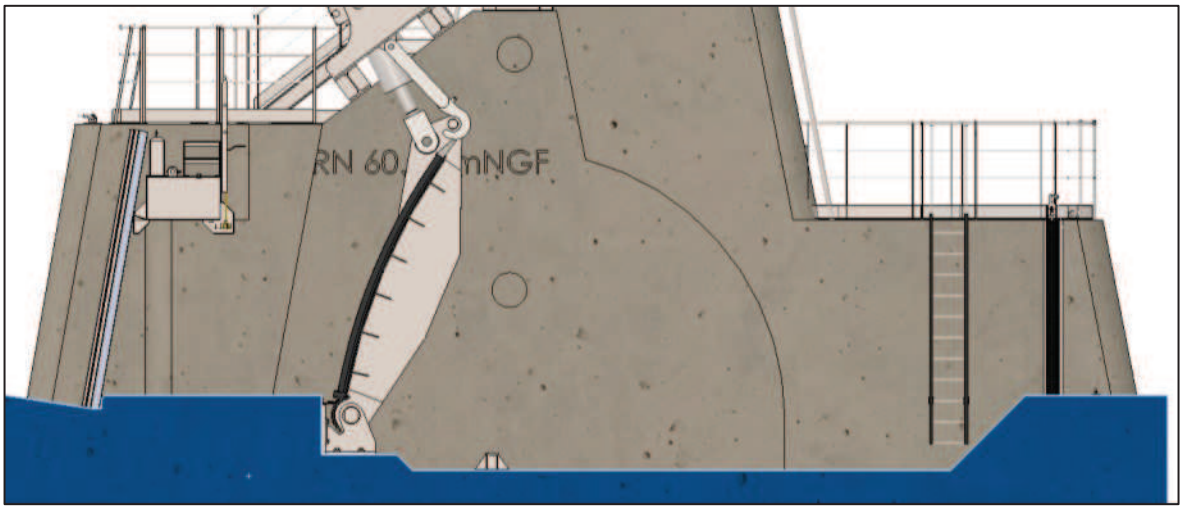


Fig. 47. Passe batardée – vue en coupe

Les solutions ici retenues sont des solutions courantes, éprouvées sur de nombreux barrage de taille similaire. Seule l'absence de navigation côté aval nécessite une solution moins courante pour l'amenée des matériels à pied d'œuvre.

9.5.2. Batardeau amont

La retenue de l'eau est réalisée à l'aide d'un rideau comportant environ 144 aiguilles en appuis sur une poutre supérieure amovible et sur une échancrure au seuil. L'arase du batardeau amont est calé à la cote 61,10 m NGF (soit la cote RN amont + 0,5m comme demandé au programme).

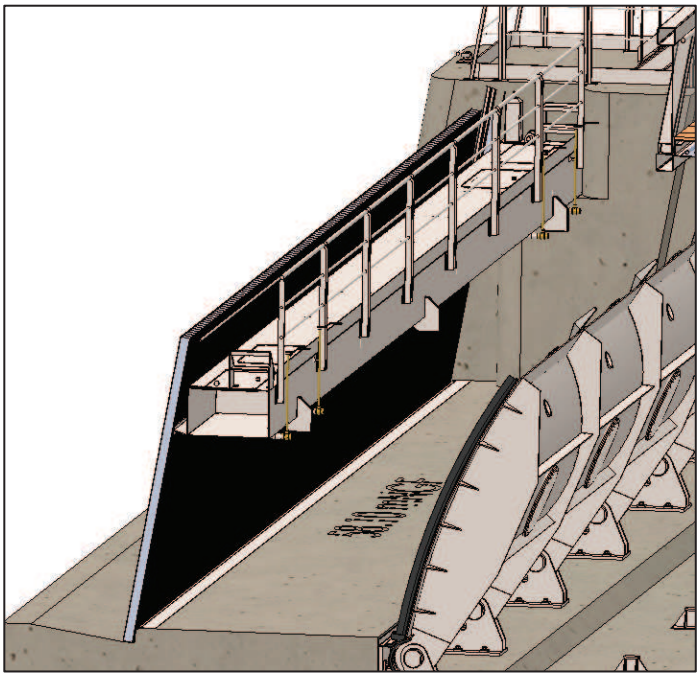


Fig. 48. Système de batardage avec poutre flottante et aiguilles

Ce rideau est incliné de 10° par rapport à la verticale afin d'en assurer sa stabilité.

Les aiguilles considérées sont en alliage d'aluminium, avec une épaisseur d'environ 100 mm pour un pas de pose de 125mm. De longueur unitaire d'environ 3,3 m, elles pèsent chacune 10,3 kg.

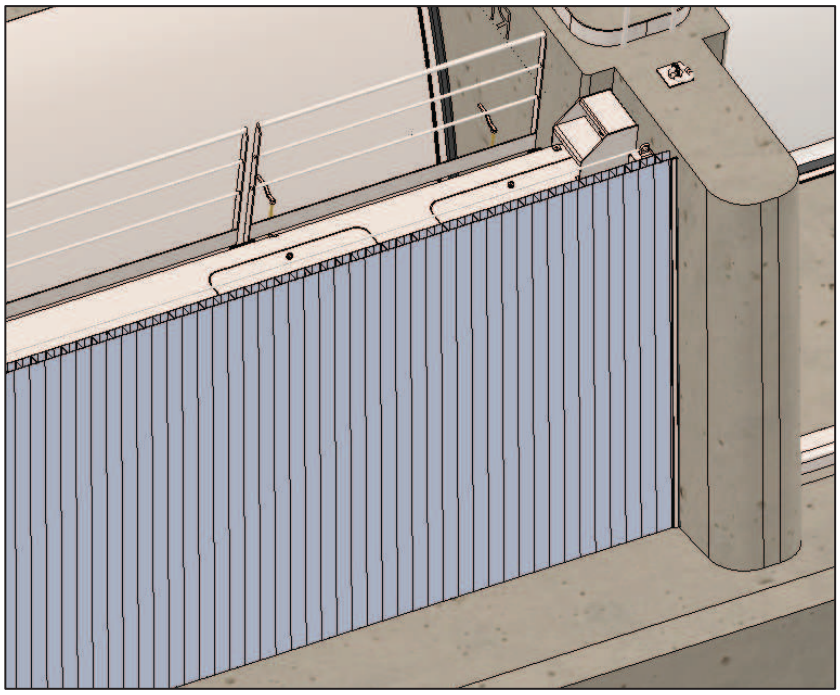


Fig. 49. Rideau d'aiguilles depuis l'amont

Remarques : les aiguilles du barrage VNF de JAULNES (Longueur= 4,5 m, largeur = 13 à 14cm) ainsi que la poutre (de longueur 19,52 m), seraient surdimensionnées pour le barrage de BEAULIEU, c'est pourquoi elles ne seront pas réutilisées.

Une fois mis en place, le rideau d'aiguilles est étanché à l'aide d'un film plastique type polyane® mise à œuvre depuis la poutre flottante et lesté au fond à l'aide d'un plongeur.

Sur chaque rive, une aiguille dédiée comportera un joint « cornière » assure l'étanchéité avec le bajoyer, en présence d'un jeu pouvant être important.

Les aiguilles en aluminium ne sont pas soumises à une corrosion dégénérative.

L'appui inférieur du rideau d'aiguilles est réalisé par une rainure exécutée dans le radier sur toute la largeur de la passe. Cette rainure est blindée par une tôle métallique pliée afin notamment d'améliorer l'étanchéité.

L'appui supérieur du rideau d'aiguille est réalisé par une poutre flottante. Cette poutre est une structure métallique mécano-soudée en acier de type caisson, de nuance S355 J2. Elle est constituée d'un seul tronçon d'une portée de 18,1 m en appui sur l'extrémité amont des piles, au niveau de 2 engravures rectangulaires munies d'un blindage métallique.

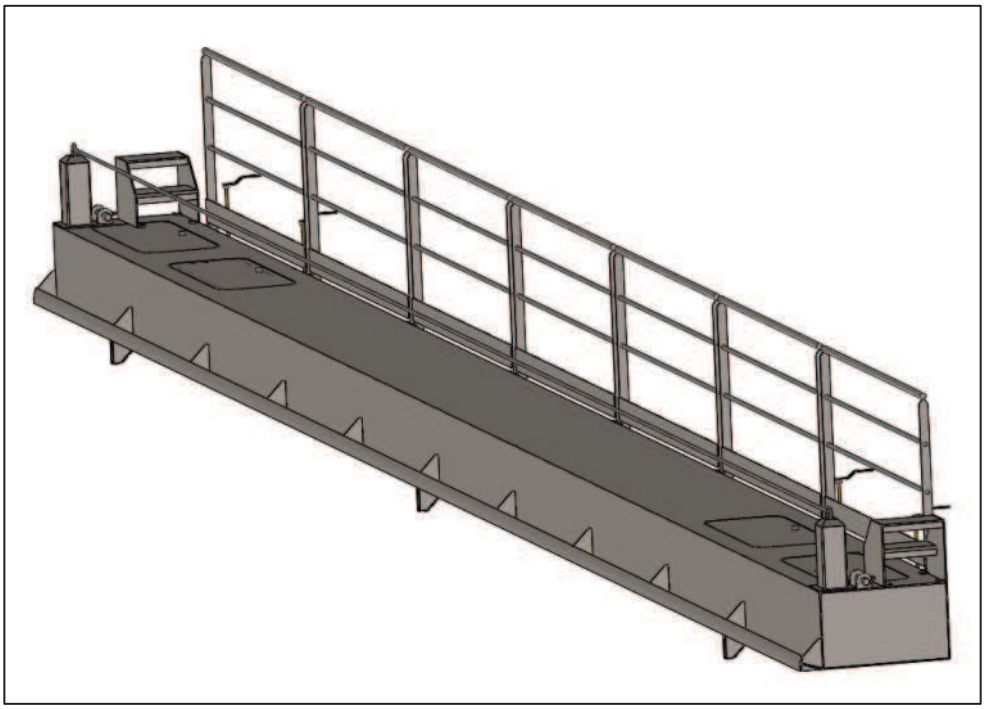


Fig. 50. ***Poutre flottante seule***

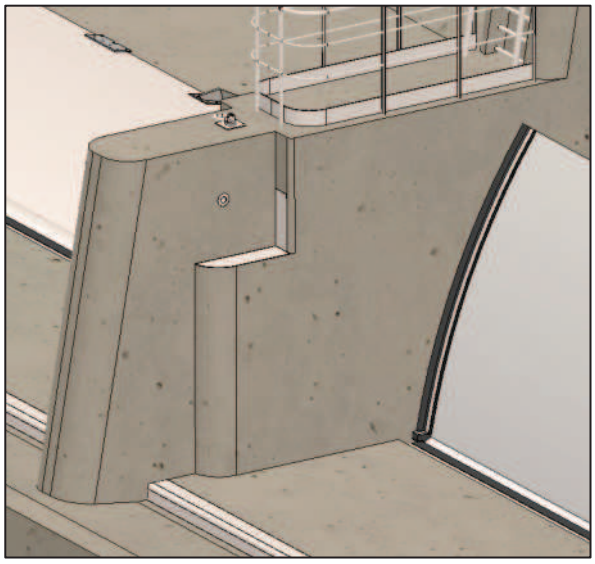


Fig. 51. ***Engravures sur les piles amont***

La hauteur de posage de la poutre calée à 61,10 m NGF permet son amenée par flottaison avec un plan d'eau compris entre RN et RN -10 cm.

La poutre, pesant 4,8 to environ, comporte des diaphragmes et des cloisons étanches permettant de compartimenter sa structure en 10 sections. Parmi elles, les 6 sections médianes forment un ensemble de caissons étanches alors que les 2 sections de chaque extrémité sont des ballasts utilisés tantôt remplis tantôt vides.

Les étanchéités sont assurées par des soudures continues et étanches. Le flotteur finalement constitué est testé en fin de fabrication à l'air comprimé afin de vérifier l'absence total de fuite.

La poutre est également équipée :

- d'oreilles de manutention pour permettre son chargement /déchargement et sa mise à l'eau
- des bollards ou anneaux d'arrimage pour son amené par flottaison, bord à quai avec une embarcation,
- d'un garde-corps amovible côté aval, de marches sur chaque rive et d'un plancher antidérapant qui permettra l'évolution en toute sécurité du personnel sur la poutre lorsque la passe batardée est à sec,
- d'une ligne de vie supportée par des potelets coté amont,
- sur les flotteurs
    - de bouchons taraudés pour les tests à l'air comprimé,
- sur les ballasts
    - de trappes de visite,
    - de vannettes de type papillon à commande manuelle de type 1/4 de tour
    - d'évents munis de raccord rapide pour remplissage à l'air comprimé,
- de pieds servant également à protéger les vannettes.

La poutre (hormis l'intérieur des caissons étanches non accessibles) est protégée contre la corrosion par un système de peinture certifié ACQPA d'une catégorie de corrosivité élevé de type Im2.

9.5.3. Batardeau aval

Le batardeau aval est constitué de potelets verticaux logés dans des réservations du radier et servant de rainures d'appui à des poutrelles horizontales. Au niveau des piles et des culées, des rainures verticales sont prévues pour supporter les poutrelles de rive.

L'arase du batardeau amont est calé à la cote 60,10 m NGF (i.e. altitude des piles aval) comme demandé au programme, soit RNamont -0,5 m. Cette valeur apparait pénalisante mais a été retenu en l'absence d'information fiable sur le niveau d'eau à attendre à l'aval en condition hydraulique normale.

Une fois assemblé, l'ensemble forme un rideau de 18,65 m de longueur (18,45 m utile) pour 2,00 m de hauteur avec les hypothèses actuelles.

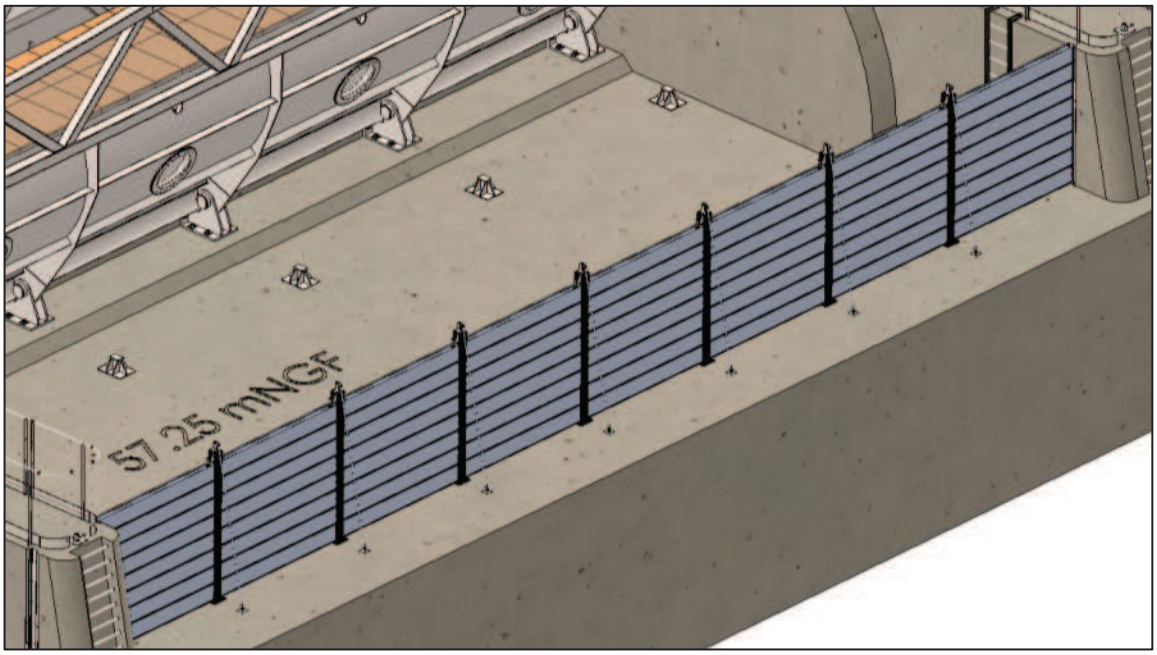


Fig. 52. Exemple de batardeau similaire tel que prévu à l'aval

Les poutrelles mesurent chacune 2,25 m de long pour 250 mm de hauteur. Elles pèsent environ 16 kg pièce. Equipées de joints inter-éléments et de joint de seuil, ces fournitures standardisées permettent de garantir un bon niveau d'étanchéité. Il y a 8 colonnes de 7 rangées de poutrelles.

Au nombre de 7, les potelets verticaux considérés au niveau de ces études ont une longueur totale de 2,4 m (y-compris la longueur s'insérant dans les puits) et une masse unitaire de 50 kg, ce qui empêche leur manipulation par un seul agent. Répartis sur la largeur de la passe avec un entraxe de 2,35 m, ils sont logés dans des puits blindés métalliques sur une profondeur de 0,5 m.

Une portée en acier inoxydable est prévu insérée dans le radier sur toute la largeur de passe afin d'améliorer les performances d'étanchéité (insensibilité aux éventuelles irrégularités de béton).

Dans ce même but, en complément, les poutrelles sont plaquées au sol par des dispositifs à vis permettant la compression des joints d'étanchéité.

Les potelets comme les poutrelles sont en aluminium extrudé et donc insensibles à la corrosion. Ceci permet également d'être manutentionné manuellement, par une seule personne pour les poutrelles et par deux personnes pour les potelets.

Les puits blindés sont constitués par une boite métallique ouverte dans sa partie supérieure, et scellée dans le génie civil du radier. En dehors des périodes de batardage, ces puits sont obturés par des couvercles pour éviter leur remplissage par les éléments solides charriés par la rivière. Ces puits, peu accessible pour maintenance, sont prévus en acier inoxydable.

9.5.4. Equipements additionnels nécessaires aux opérations de batardage

Différents équipements additionnels nécessaires aux opérations de batardage et de maintenance seront fournis dans le cadre du marché de reconstruction du barrage de BEAULIEU :

- deux électropompes de faible capacité pour reprendre les éventuelles fuites (les pompes d'épuisement nécessaires à la mise à sec des passes ne sont pas prévues fournies au titre du présent marché car envisagées louées sur de courtes périodes),
- les tuyaux souples de refoulement et autres accessoires nécessaires à l'évacuation des eaux,
- les dispositifs d'accès temporaire en fond de passe,
- tous les équipements additionnels de sécurisation des accès.

9.5.5. Stockage des batardeaux et matériels de batardage

Les aiguilles du batardeau amont, les poteaux verticaux et panneaux du batardeau aval, sont prévus stockés sur des racks, dans le local d'exploitation.
Avec un coefficient de foisonnement de 1,5 couvrant les intercalaires en bois à insérer entre les éléments, les volumes à considérer sont les suivants :

- 144x aiguilles amont : 8,6 m3
- 12x potelets aval : 0,6 m3
- 56x poutrelles aval : 3,3 m3

Une disposition possible pour le batardeau aval est la suivante :

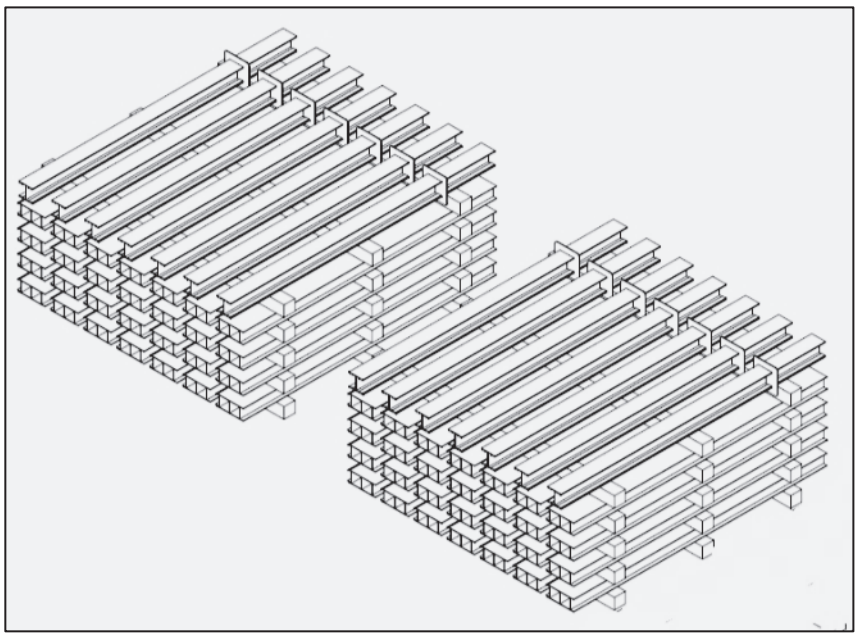
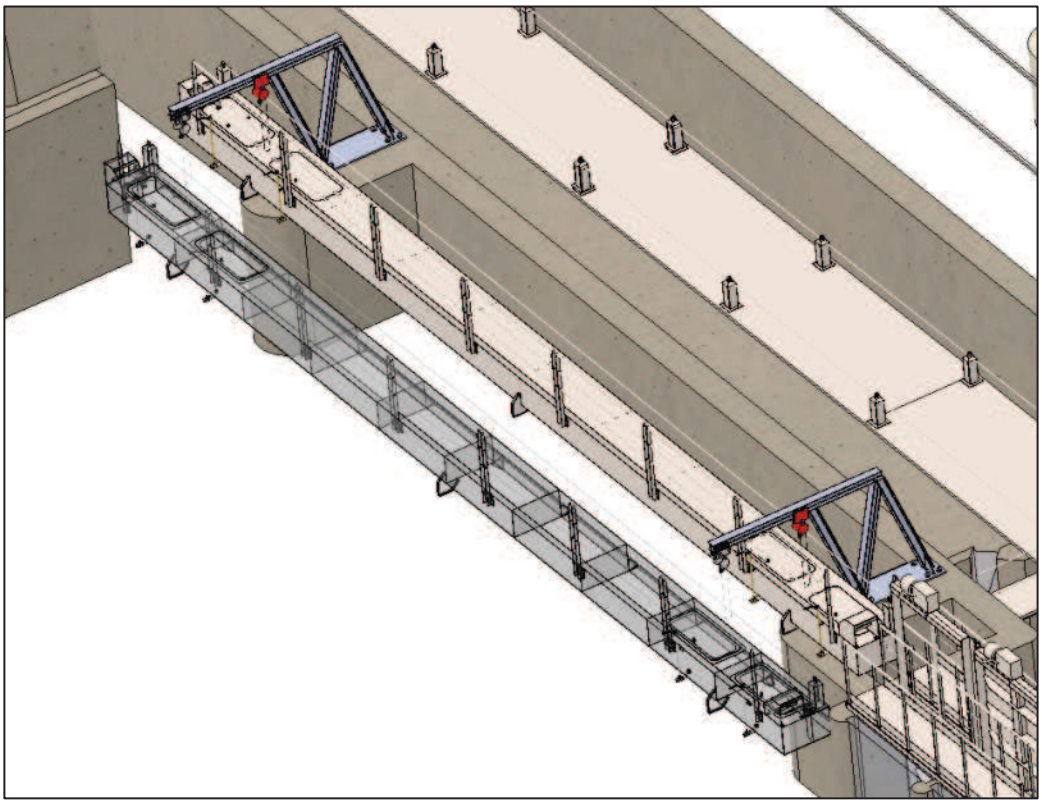


Fig. 53. Possibilité de stockage des potelets et des poutrelles du projet

La poutre flottante est prévue d'être stockée à proximité de la passe en poisson, sur des massifs en béton dédiés. Un moyen de levage rustique permet la mise à l'eau de la poutre, les capacités de levage du bateau « Le Sanglier » n'étant pas suffisantes.



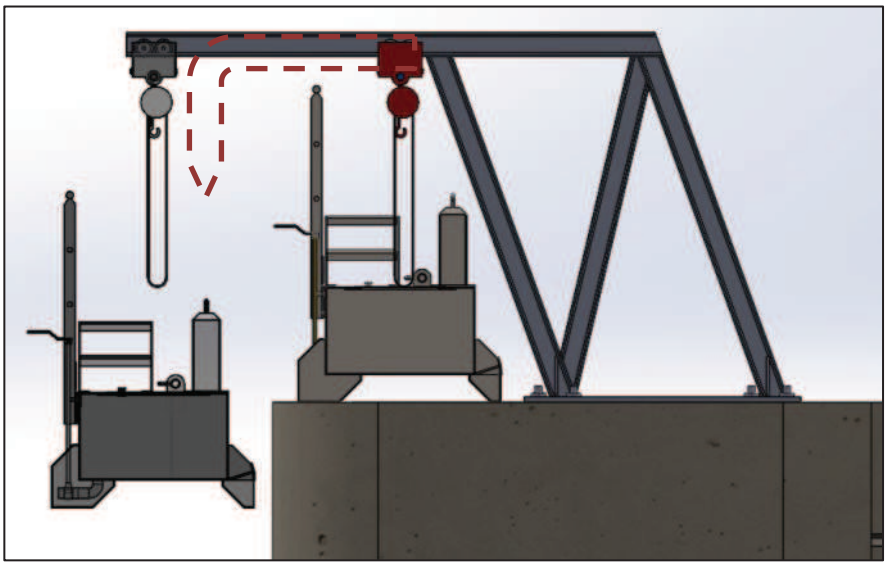


Fig. 54. Stockage de la poutre flottante hors d'eau et moyens de manutention associés

Ce moyens de levage comprend 2 portiques fixes munis chacun d'un palan à chaîne déplacé à l'aide d'un chariot d'accrochage, également mu à l'aide d'une boucle de chaîne. Ci-dessous des exemples de matériels pouvant être utilisés.



Fig. 55. Exemples de moyens de manutention manuels pour la charge requise (images TRACTEL et VERLINDE)

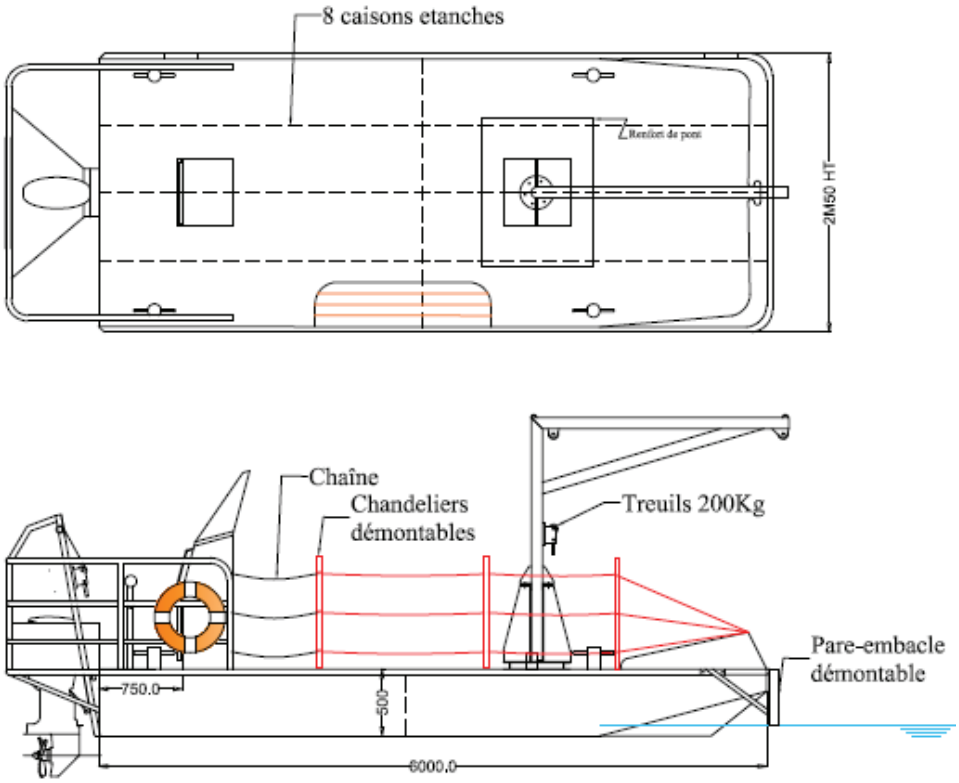
Ces équipements peuvent être démontés entre chaque utilisation.

9.5.6. Equipements d'amené des matériels à l'aval

Devant l'impossibilité d'amener le matériel de batardage aval depuis l'amont (à cause notamment de l'emprise de la passerelle), un moyen particulier était à prévoir pour réaliser cette amenée. De plus, compte-tenu du courant présent, ce moyen se devait d'être motorisé.

Pour ces opérations d'amenée des matériels depuis leur lieu de stockage, il a donc préalablement été étudié et analysé plusieurs solutions synthétisé ci-dessous :

	Solution	Avantages / intérêts	Inconvénient / contraintes
1	Remorque amphibie achetée + tracteur pseudo-amphibie loué	- Tracteur loué : pas de maintenance, pas de stockage - Remorque achetée : peu servir de stockage pour une partie des éléments	- Tracteur loué : travaux à planifier, acheminement, - risque de pollution - Sensible au niveau d'eau aval - Nécessite une petite formation - Tapis d'enrochement pas forcément « carrossable »
	 		
2	Engin amphibie loué	- Engin loué : pas de maintenance, pas de stockage - Insensible au niveau d'eau aval	- Engins loué : travaux à planifier, acheminement - berges pentues - fourches pas forcément adaptée à la charge - Nécessite une petite formation
	 		
3	Barge + 2x treuils de halage achetés	- Acheté : disponibilité permanente - Simplicité du système : pas de motorisation,	- Acheté : entretien et maintenance - installation préalable du câble sur les piles aval contraignante (toutes les zones ne sont pas desservies)

		rustique	- Stockage et sécurisation : *si en eau : besoin d'une darse, gestion des crues, gestion des accès *si hors d'eau : besoin d'une remorque dédiée et d'un parking sécurisé ; problème de mise à l'eau
			
4	Chaland acheté	- Acheté : disponibilité permanente - Dessert toutes les zones - peut être mis à l'eau ailleurs sur le canal - niveau d'eau minimal requis faible	- Acheté : entretien et maintenance - Stockage et sécurisation : sur remorque dédiée : besoin d'un parking sécurisé et ponctuellement d'un véhicule
			

Les 3 premières solutions de cette analyse ont été écartées pour la raison technique mentionné en rouge. La solution 4 a été retenue dans le cadre du projet du fait de sa flexibilité et de son utilisation possible pour d'autres besoins éventuels de VNF.

9.6. EQUIPEMENTS DE LA PASSE A POISSONS

9.6.1. Présentation générale des équipements retenus

Cette passe comprend les équipements hydromécaniques suivant, listé de l'amont vers l'aval :

- une grille anti-embâcles complétée par un déflecteur,
- un dispositif d'isolement amont composé de deux vannes de type guillotine,
- un dispositif de comptage et/ou de capture amovible, à installer dans le bassin supérieur, comprenant :
    - une paire de nasses de piégeage, empêchant les poissons de redescendre dans
    - une paire de grilles fine ;
- une vanne asservie aval, régulant le débit d'attrait,
- un dispositif d'isolement aval, permettant de mettre à sec la vanne aval.

Le dégrillage s'effectuera manuellement à l'aide d'une gaffe depuis la passerelle d'accès desservant toute la passe.

Deux échelles sont prévues pour descendre en fond d'ouvrage, une en amont pour le comptage / capture et l'autre en aval de l'ouvrage pour la maintenance de la vanne aval.

En fonction de la cote réelle du niveau aval, la vidange de la passe pourra ne pas s'effectuer gravitairement. Dans une pareille situation, si la passe devait être mise à sec, le batardeau aval serait utilisé et la mise à sec devra s'effectuer à l'aide de pompe, non inclus à la fourniture du présent Marché.

9.6.2. Vanne asservie aval

Une vanne de régulation est installée en entrée de passe (à l'aval) pour maintenir le débit d'attrait. Il s'agit d'une vanne pelle (ou glissante), de type baissante, mesurant 1,4 m de large x 1,8 m de hauteur. Cette bouchure est manœuvrée par un servomoteur positionné hors PHE et par un système vis-écrou.



Fig. 56. Localisation de la vanne aval telle que prévu

C'est une vanne unidirectionnelle supportant la pression sur sa face amont. Les rainures seront scellées dans le génie-civil du voile aval de la passe à poissons. Les aperçus ci-après montrent les principes de conception retenus pour cette vanne.



Fig. 57. Exemples de fourniture standardisée pour la vanne aval telle que prévu (image RAMUS et ORBINOX)

Le choix de l'organe de manœuvre s'est porté sur un servomoteur pour sa flexibilité et pour limiter l'emprise des réseaux oléo-hydrauliques. Le choix de cette transmission limite l'impact visuel de cet équipement avec l'absence de crémaillère vanne levée.

L'ensemble des structures de la vanne (tablier, dormant, structure porteuse) est en acier inoxydable de type Inox 304L afin d'en limiter les besoins en maintenance (pas de remise en peinture).

Il sera utilisé un matériel standardisé du commerce si ses performances sont adaptées au contexte du site et du projet.

9.6.3. Dispositif de batardage aval

Un batardeau est également prévu pour les besoins de maintenance de cette vanne aval. Compte tenu des dimensions réduites de l'ouverture, nous avons prévu un batardeau modulaire constitué de poutrelles en aluminium standard qui seront insérées dans des rainures verticales montées en applique sur l'extérieur du voile en béton de la passe à poissons.

Les poutrelles de batardage seront de conception similaire à ceux prévus pour le batardage aval des passes du barrage mobile. Leur masse unitaire permettra de les acheminer et de les mettre en place manuellement sans moyen de levage spécifique.

Des axes traversant et l'utilisation d'une paire de crochet sur manche permettra la mise en place et le retrait de ces poutrelles en eau, depuis le platelage de la passe à poissons. Les poutrelles auront pour longueur de 1,6 m, soit une portée similaire.

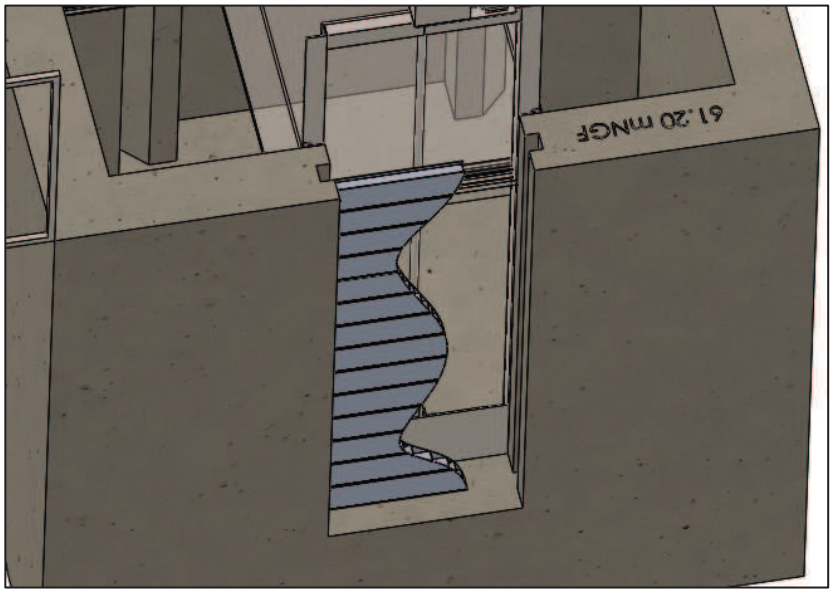


Fig. 58. Aperçu du batardeau de la vanne aval

9.6.4. Dispositif de batardage/coupure amont

Le batardage amont de la passe à poissons est une opération plus fréquente que les autres opérations de batardage car elle est nécessaire pour le retrait des embâcles sur la grille et dans les fentes, ainsi que pour le piégeage des poissons. Cette dernière opération pourra potentiellement être réalisée par la fédération de pêche.

De plus le batardage s'effectue avec un débit car la vanne aval ne peut couper seule la hauteur de chute franchie.

Pour l'ensemble de ces raisons il a finalement été choisi l'implantation d'une vanne de coupure et non d'un batardeau. Après analyse, la portée à couvrir nous a incité à implanter deux vannes identiques s'appuyant sur une pile centrale. Cette disposition améliore le guidage des parties mobiles et permet également de pouvoir recourir à du matériel plus standard

Les vannes retenues sont deux vannes levantes identiques, de type pelle, mesurant chacune 2,10 m de large pour 1,70 m de hauteur.

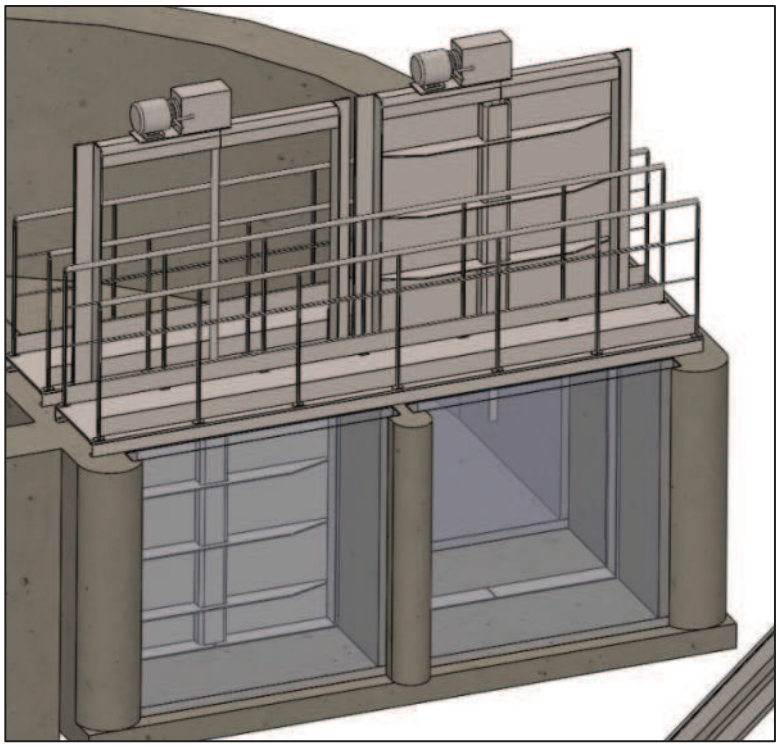


Fig. 59. Vannes amont servant à la coupure

Malgré les fréquences de manœuvres faibles attendues, les organes de manœuvres sont prévus électriques, à cause des difficultés d'accès (position en hauteur). Pour des raisons esthétiques, ce seront des systèmes de vis-écrou avec vis tournante (et non montante).

9.6.5. Grille grossière amont

A la sortie de la passe (coté amont) une grille de 30 cm d'entrefer permet de retenir les embâcles sans gêner la migration des poissons.

Cette grille divisée en deux éléments de part et d'autre de la pile amont mesure 2x 2,10 m de large pour env. 1,70 m de haut et est réalisée en acier galvanisé à chaud.

Cette grille sera nettoyée manuellement à l'aide d'une gaffe, après fermeture des vannes amont.

9.6.6. Déflecteur

Un déflecteur métallique est positionné en amont de l'entrée de la passe à poissons. Ce déflecteur permet de dévier les embâcles de l'entrée de la passe à poisson, limitant ainsi les besoins en entretien.

Ce déflecteur est composé d'une palplanche positionnée horizontalement au niveau de la zone de marnage. Le système ne suit donc pas les variations de niveau et sera donc noyé en cas de crue.
Les structures seront protégées de la protection par une peinture similaire à celle utilisée sur les clapets.

9.6.7. Dispositif de comptage et/ou capture

Il est prévu d'installer temporairement un dispositif de capture comprenant :

- une grille de blocage, en deux éléments de part et d'autre de la pile centrale, avec entrefer de 2 mm pour le piégeage dans le bassin de sortie,
- deux nasses anti-retour, de 0,4m de large pour environ 1,70m de haut, positionnée sur les 2 fentes les plus en amont. Afin de faciliter la manutention et la mise en place de ses nasses, chacune d'entre elles est constitué de deux éléments de 0,85 m de haut.

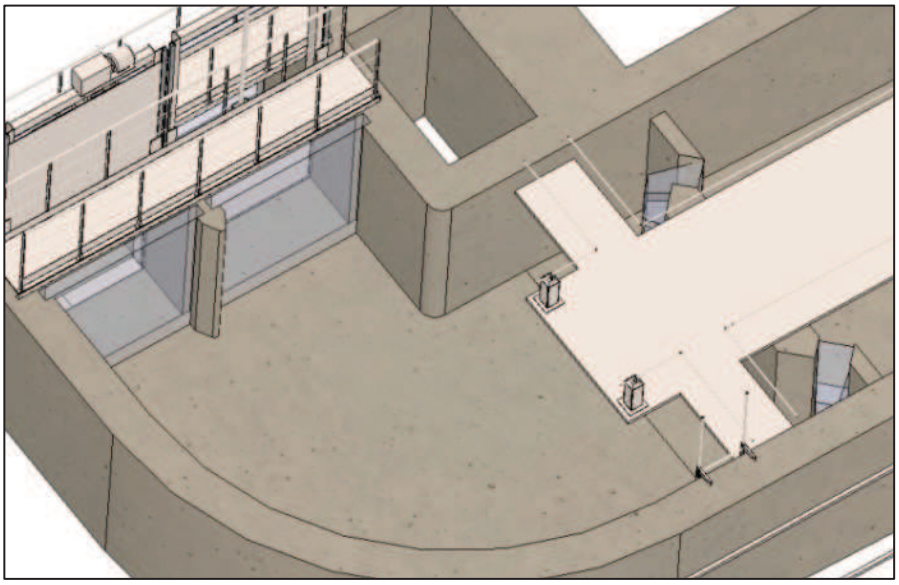


Fig. 60. Exemple de nasse installée en sortie de passe

Le pompage s'effectuera dans une fosse (non représentée ci-dessus).

9.6.8. Dispositifs d'accès à la passerelle depuis les rives

Une clôture de sécurité séparant les espaces VNF des espaces publics est implantée autour de la passe à poissons en rive droite. Cette clôture canalise le public vers la rampe d'accès à la passerelle et prévient des chutes dans la passe à poissons.

Deux portillons piétons intégrés à cette clôture permettent à l'exploitant d'accéder à l'ensemble de la passe à poissons, soit à l'amont à proximité de la vanne double de coupure soit à l'aval à proximité de la vanne de réglage.

En complément deux échelles permettent de descendre dans la passe :

- une échelle dans le bassin amont afin d'effectuer le piégeage des poissons
- une échelle dans le bassin aval, notamment pour inspecter la vanne aval.

Enfin une passerelle couvrant 1/3 de la largeur de la passe dessert l'ensemble de celle-ci. Cette passerelle permet le retrait des embâcles à l'aide d'outillage. Elle est réalisée en caillebotis reposant sur une structure légère elle-même posée sur les fentes en béton. Elle comprend 2 lignes de vie attachées à des potelets de part et d'autre du platelage.

10. ELECTRICITE /CONTROLE-COMMANDE

10.1. ARCHITECTURE ELECTRIQUE

L'objectif des équipements électriques de contrôle-commande est de permettre une gestion du barrage mobile et de la passe à poissons.

Ces équipements contrôlent et pilotent les manœuvres des bouchures et permettent de consigner les principales signalisations et les alarmes de fonctionnement.

Le contrôle-commande est construit autour d'un noyau électromécanique câblé (sans automate), encadré par un système plus élaboré doté d'un automate programmable qui assurera le fonctionnement automatique du barrage ainsi que la gestion des mesures et informations.

Le contrôle commande de la vanne de la passe à poisson intégrera également un automate ainsi qu'une interface de type IHM propre.

Un automate de télégestion, indépendant de l'automate principal barrage assurera principalement les fonctions de télémesure, télé alarme.

Tous ces équipements seront regroupés dans deux armoires de commande, décrite ci-après, et placées dans le local existant en rive droite.

Le pilotage s'effectuera donc depuis ce local ou depuis un boîtier de commande portatif (télécommande) permettant de manœuvrer « à vue » les clapets et la vanne de la passe à poissons.

Pour pallier aux coupures d'alimentation du réseau de distribution, un groupe électrogène fixe à démarrage automatique sera installé à proximité de ce local.

10.2. ARMOIRE ELECTRIQUE

L'armoire électrique principale comprendra d'une part les équipements d'alimentation, de protection et de sectionnement, et d'autre part, les équipements de commande et de gestion.

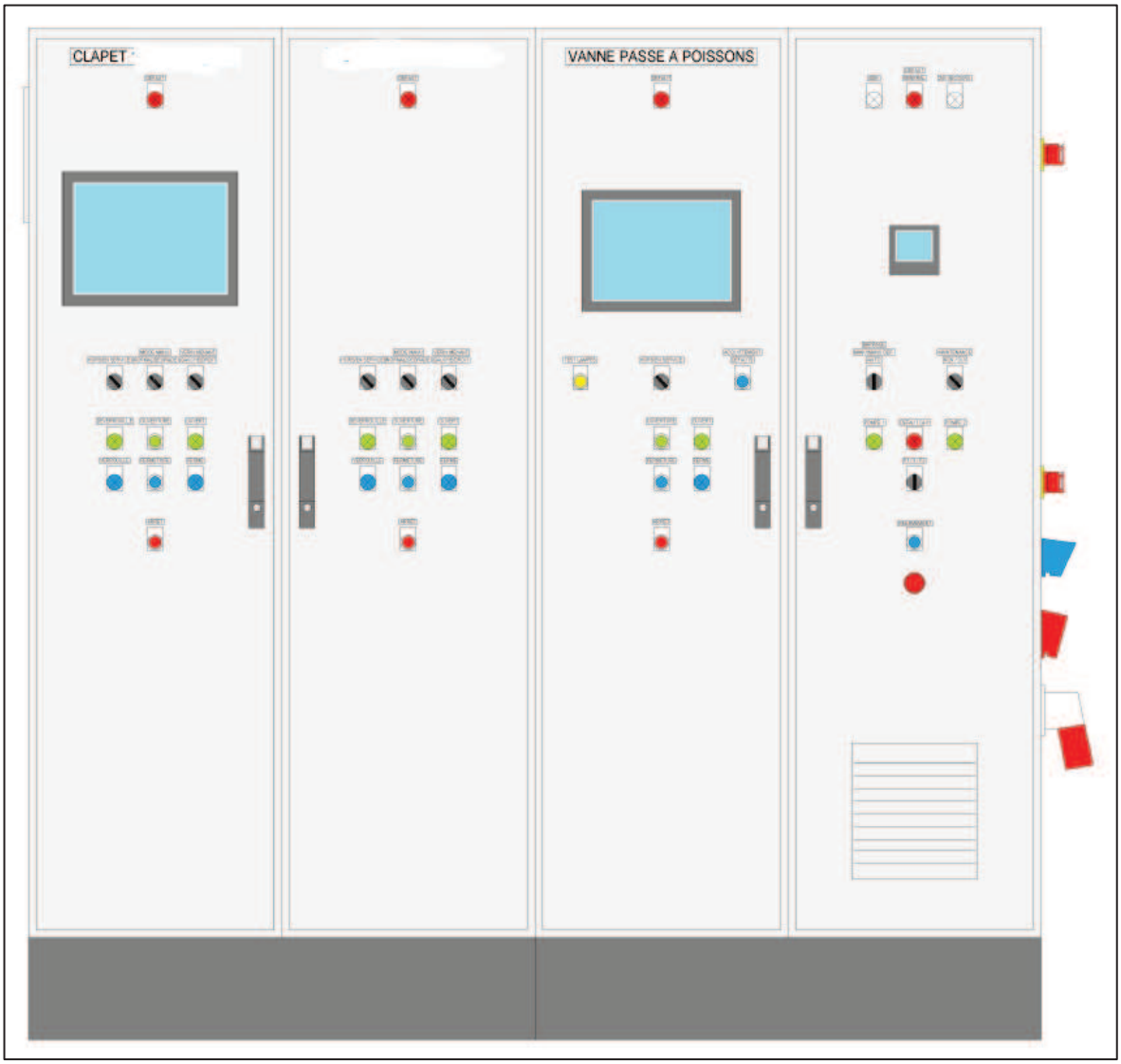


Fig. 61. Aperçu de l'armoire électrique tel que prévu au projet

Cette armoire mesure environ h 2 m x 2 m x 0,5 m de profondeur.

L'armoire électrique sera découpée en deux parties :

- une première partie dite « TGBT » qui assurera la gestion de l'arrivée ENEDIS/ERDF et l'inversion de source N/S, secours venant du groupe électrogène extérieur, et les protections puissances...
    - un inverseur de source et ses disjoncteurs :
        - raccordement direct à l'aval du compteur ENEDIS/ERDF,
        - raccordement direct du groupe électrogène de secours,

- Centrales de mesure de type DIRIS A40
- Relais présence tension
- Module protection foudre

Seront au minimum disponibles sur la face avant de l'armoire les équipements suivants :

- 1 voyant lumineux blanc « Sous Tension »,
- Afficheur de la centrale de mesures électriques
- Des commutateurs pour l'éclairage des équipements déportés sur les piles,

- Une seconde partie dite « Cellule de distribution » qui assurera départs et protections électrotechniques nécessaire à l'installation.
  - l'ensemble des départs, protections, relais, et matériels divers, nécessaires principalement :
    - chauffage et ventilation armoire
    - éclairages armoires
    - puissance pour moteurs centrale hydraulique,
    - pour l'éclairage,
    - coffret PC
    - alimentation vers armoire CCde barrage
    - alimentation vers armoire CCde passe à poissons
    - au chauffage du local technique.
    - baie électronique téléconduite.
    - coffret pylône téléconduite
  - 1 onduleur afin de conserver l'alimentation de l'automate et du circuit de commande en cas de microcoupure de la source ENEDIS/ERDF,

Seront au minimum disponibles sur la face avant de l'armoire les équipements suivants :

Pour la centrale hydraulique :

- 1 commutateur de choix du mode de commande à trois positions « commande manuelle – arrêt – commande automatique »,
- 1 bouton poussoir lumineux « marche » pour chacune des pompes de la centrale,
- 1 bouton poussoir « Arrêt » pour chacune des pompes de la centrale,
- 1 voyant défaut général centrale hydraulique (regroupe tous les défauts de la centrale hydraulique),

- Une Troisième partie dite « Cellule API Barrage » qui assurera la commande et le contrôle du barrage.
  - 1 automate de type M340 de Schneider® (ou équivalent) :
    - carte de communication Modbus® TCP IP,
    - un module de communication vers automate de télégestion
    - entrées et sorties en 24 VDC,

- entrées analogiques 12 bits minimum,
- les entrées TOR et analogiques de l'automate seront connectées sur des bornes de type sectionnable,
- les sorties TOR automates se feront par relais et les bornes de connexions seront de type fusible,
- une réserve de 20% minimum est prévue sur les entrées/sorties connectées sur borniers,

- 1 automate de télégestion de type SOFREL® (ou équivalent), composé de:
  - une carte d'alimentation,
  - une carte CPU
  - un module de communication vers l'automate
  - une carte ETHERNET pour la communication avec un poste central de supervision
  - une carte téléphonique ou GSM3 (de préférence GSM3) permettant d'appeler les personnels sur un numéro d'astreinte préétabli ou le report d'alarme par l'envoi de message vocaux ou SMS.
- 1 terminal de dialogue IHM de type MAGELIS® (ou équivalent) associé à l'automate barrage et ayant pour fonctions essentielles :
  - l'affichage et le réglage de toutes les variables entant dans l'asservissement automatique des vannes : seuils de position des vannes, seuils de niveaux, seuils de pression, etc.,
  - commande pour autoriser ou interdire la commande du barrage depuis le PCC
  - l'affichage de toutes les mesures : positions des clapets, niveau amont sonde 1, et 2, sonde niveau aval 1 et 2,
  - l'affichage des alarmes du barrage

Seront au minimum disponibles sur la face avant de l'armoire les équipements suivants :

- 1 voyant lumineux rouge « Défaut Général »,
- 1 bouton poussoir « Réarmement »,
- 1 bouton poussoir « Test Lampes »,
- 1 indicateur numérique du niveau moyen du bief amont,
- 1 indicateur numérique du niveau du bief aval,

Pour chaque clapet :

- 1 commutateur de choix du lieu de commande à deux positions « commande à distance – commande locale ».
- 1 commutateur de choix du mode de commande à trois positions « commande manuelle, – arrêt – commande automatique ».
- 3 boutons poussoirs lumineux « ouverture – arrêt – fermeture » pour la commande manuelle effective du clapet depuis l'armoire générale de commande.

- 2 voyants lumineux « clapet fermé » et « clapet ouvert »,
- 1 indicateur numérique de la position du clapet en continu,
- 2 voyants lumineux « verrou enclenché » et « verrou relevé »,
- 1 voyants défaut général clapet (regroupe tous les défauts du clapet concerné),

- Une troisième partie dite « Cellule API PAP » qui assurera la commande et le contrôle de la passe à poisson.

Pour la vanne de la passe à poissons :

- 1 automate de type M340 de Schneider® (ou équivalent) :
  - carte de communication Modbus® TCP IP,
  - un module de communication vers automate de télégestion
  - entrées et sorties en 24 VDC,
  - entrées analogiques 12 bits minimum,
  - les entrées TOR et analogiques de l'automate seront connectées sur des bornes de type sectionnable,
  - les sorties TOR automates se feront par relais et les bornes de connexions seront de type fusible,
  - une réserve de 20% minimum est prévue sur les entrées/sorties connectées sur borniers,

Seront au minimum disponibles sur la face avant de l'armoire PAP les équipements suivants :

- 1 commutateur de choix du lieu de commande à deux positions « commande à distance – commande locale »,
- 1 commutateur de choix du mode de commande à trois positions « commande manuelle – arrêt – commande automatique »,
- 3 boutons poussoirs lumineux « ouverture – arrêt – fermeture » pour la commande manuelle effective de la vanne depuis l'armoire générale de commande,
- 2 voyants lumineux « vanne fermée » et « vanne ouverte »,
- 1 voyant défaut général vanne.
- 1 terminal de dialogue IHM de type MAGELIS® (ou équivalent) associé à l'automate PAP et ayant pour fonctions essentielles :
  - l'affichage et le réglage des variables entant dans l'asservissement automatique de la PAP : consigne de débit notamment,
  - l'affichage des mesures : positions de la vanne, niveau aval sonde.
  - l'affichage des alarmes de la passe à poissons,

La commande manuelle du clapet ou des pompes depuis l'armoire de commande, ainsi que les affichages de position, de niveau ou de défauts (hors terminal de dialogue) sont gérés en logique câblée, indépendamment du fonctionnement de l'automate ou du terminal de dialogue.

Des écrans permettront d'afficher les images des caméras décrites au §11.2.1.1.

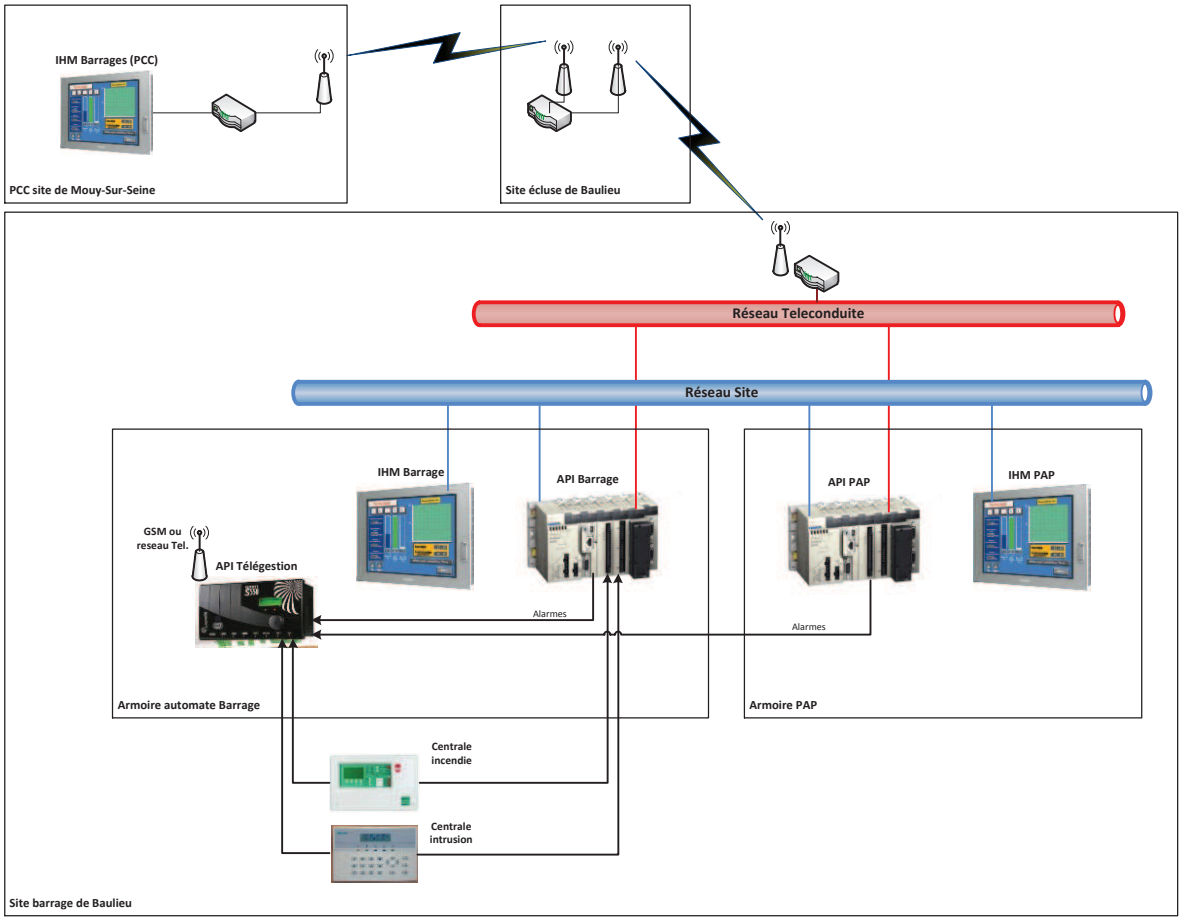


Fig. 62. Architecture contrôle-commande avec réseau téléconduite

10.3. INSTRUMENTATION

10.3.1. Sondes de niveaux

Les sondes de niveau sont au nombre de 4 :

- 2 sondes redondantes pour la mesure de niveau du bief amont,
- 2 sondes redondantes pour la mesure de niveau du bief aval,
- 1 sonde pour la mesure du niveau aval à la PAP, en lieu avec l'automate dédié à celle-ci

Ces matériels seront des sondes de pression hydrostatiques à technologie piézo-électrique. Les capteurs des niveaux amont et aval sont prévus doublés par l'utilisation d'un capteur radar. Leur précision de mesure est de 0.1 % de l'étendue de mesure.

Les sondes seront positionnées à distance du barrage, en fonction des exigences de l'hydraulique. La sonde dédiée à la passe à poissons sera positionnée en aval immédiat de cette dernière.

10.3.2. Capteurs et indicateurs de position

Les capteurs et indicateurs de position suivants seront prévus :

- capteur de position haute,
- capteur de position basse,
- indicateur de position en continu du niveau de la crête du clapet (et non pas de l'angle d'inclinaison).

Les capteurs de position seront du type détecteur de fin de course. Ils seront placés au-dessus du niveau amont à la cote PHEC et seront aisément accessibles pour réglage et remplacement. Ils seront montés sur des supports autorisant un réglage suffisant.

L'utilisation de relais à seuil pour la détection des positions haute et basse à partir du signal donné par l'indicateur de position est proscrite.

Les indications en continu de position seront du type absolu et non pas incrémental (même secouru par piles ou batterie).

L'indication de la position en continu de la crête du tablier sera donnée à partir de la position de ses organes de manœuvre. Sur les vérins, l'indicateur de position en continu du niveau de la crête du clapet sera du type magnéto-restrictif ou à câble et intégré dans le corps du vérin. Un dispositif d'accès tel qu'une échelle à l'aval du vérin pour la maintenance ou le changement du capteur est prévu.

10.3.3. Divers

Un ensemble de capteurs supplémentaires est prévu pour automatiser et sécuriser le fonctionnement global de l'ouvrage.
Parmi ceux-ci, nous retrouverons :

- l'instrumentation de la centrale hydraulique et des vérins, décrite au §9.2.3,
- les détecteurs de présence pour les verrous de chômage,
- les détecteurs de fins de course pour la vanne de la passe à poissons.

10.4. EQUIPEMENTS PREVUS

10.4.1. Boîtiers de commande portatif

Un boîtier de commande portatif (télécommande) permettra de manœuvrer « à vue » :

- les clapets,
- la vanne aval de la passe à poissons
- les vannes amont de la passe à poissons servant de batardeau.

Les commandes seront actives après sélection du « mode manuel » et du « lieu de commande locale » à l'aide des commutateurs en face avant de l'armoire contrôle-commande.
Cette télécommande sera filaire, à connecter sur des prises de raccordement présentes sur les coffrets installés sur la passerelle (sur la pile centrale et sur les culées) et à proximité de la passe à poisson (à l'amont et à l'aval).

Ce boîtier disposera au minimum des commandes suivantes :

- 1 bouton poussoir « Ouverture »,
- 1 bouton poussoir « Fermeture »,
- 1 bouton poussoir « Arrêt d'Urgence »,
- 1 fonction « Homme mort », entraînant la désactivation du boîtier de commande.

10.4.2. Coffrets de branchement d'équipements auxiliaires

Sur les deux piles étroites, afin de permettre de desservir les deux passes adjacentes, ainsi qu'au niveau de la passe à poissons, il est prévu des coffrets comprenant des prises permettant le branchement d' équipements auxiliaires, notamment des pompes de mise à sec. Ces prises permettent le branchement en 230 V et en 400 V. Elles supportent chacune un courant de 16 A soit une puissance d'environ 6 et 8,8 kVA.

10.4.3. Eclairage technique

Comme exigé dans les Recommandations du CFBR sur la conception des évacuateurs de crues, il est prévu des projecteurs pour éclairer l'ensemble des passes du barrage en cas d'intervention nocturne.

Afin de limiter l'étendu des réseaux, une paire de projecteurs est installée sur chacune des deux piles étroites afin d'éclairer les deux passes adjacentes. Cette disposition à la localisation des prises. Elle permet en outre un éclairage optimum des zones sensibles que sont les vérins situés à l'opposé de chaque passe.

10.4.4. Groupe électrogène de secours

Un groupe électrogène fixe sera installé dans le local de commande rive droite. Le groupe sera implanté à l'intérieur du local technique dans une pièce dédiée.

Sa puissance permettra d'alimenter l'ensemble des équipements du barrage er son réservoir devra permettre une autonomie minimale de 24 h.

Pour exemple, voici les caractéristiques et les équipements inclus au groupe électrogène de référence du fournisseur SDMO :

- IP23
- Grille de protection des parties chaudes (Norme CE)
- Gaine de rejet d'air
- Conformité niveau sonore avec Directive 2000/14/CE
- Régulation électronique
- Châssis double parois 48 heures
- Bac de récupération des fluides
- Préfiltre décanteur GO
- Capot extérieur SILENT (Version IV_F)
- Pack de reports à distance configurable. (Maximum 6 reports)
- Marche groupe
- Prédisposition pour démarrage automatique sur ordre extérieur
- Pack automatique (Chargeur 12v + relais et résistance préchauffage moteur 220/240V)
- Affichage grandeurs analogiques sur écran (PH/TE/GO)(12 V) (Inclus en 24 V)
- MICS Telys (J20-J300)(12V)
- Protection différentielle (Type A, AC) ajustable (Tps et seuil) (TT-TNCR-TNCUR)

10.5. ALIMENTATION EN ENERGIE

10.5.1. Bilan de puissance

Le bilan préliminaire des puissances électriques (installées et absorbées en fonction du coefficient d'utilisation) a été établi. Ce bilan est présenté en annexe.

10.5.2. Raccordement au réseau électrique

Le raccordement électrique se fera sur le réseau d'alimentation ENEDIS/ERDF déjà présent au local existant.

L'abonnement, à priori limité actuellement à une puissance apparente de 16 kVA (à confirmer par VNF) devra être revu car le bilan des puissances préliminaire indique une puissance absorbée de 35 kVA (avec 10% de marge). Cette puissance correspond à un tarif « bleu » autorisant 36 kVA.

Le groupe électrogène aura une puissance d'environ 44 kVA et sera donc identiques à celui de l'écluse (une marge dans son dimensionnement est nécessaire à son démarrage).

La gestion de permutation des sources entre l'arrivée ENEDIS/ERDF et le groupe électrogène se fera par un inverseur de source automatique tétra-polaire avec module de contrôle « VERSO » intégré.

10.5.3. Cheminements électriques

Les nouvelles liaisons électriques en berge (entre le local de commande et le barrage) se feront en tranchée.

Pour la traversée des passes du barrage, les câbles électriques transiteront par la passerelle. Pour cela, des fourreaux électriques seront logés sous le platelage de la passerelle.

L'ensemble des réseaux (puissance, commande, information, etc.) est visible sur le synoptique présenté en Annexe.

10.5.4. Protections contre la foudre

Du fait de l'installation d'un pylône avec paratonnerre, l'installation devra comporter :

- Sur la distribution électrique :
  - La mise en en œuvre de protections de type 1 dans le TGBT afin de protéger toutes les installations.
  - Mise en place de protection de type 3 en amont de la distribution ondulée des auxiliaires.

- Sur les équipements courants faibles, une attention particulière sera portée sur les équipements extérieurs montés sur mâts notamment les caméras de vidéosurveillance :
    - Protéger tous les signaux entrants dans les locaux sur tous leurs signaux (alimentation, câblage réseau Cu).

10.6. FONCTIONNEMENT

10.6.1. Modes de commande prévus sur les clapets

Conformément au programme, les 3 modes de commandes suivants sont prévus pour la commande des clapets équipant les 4 passes du barrage :

10.6.1.1. MODE AUTOMATIQUE

Dans ce mode de fonctionnement, les mouvements de clapets seront gérés automatiquement par l'armoire de contrôle et de commande en fonction du niveau du bief amont et des consignes préétablies par l'exploitant à l'aide de l'IHM.

L'amplitude des mouvements des bouchures est limitée par les détecteurs de fins de course positionnés avant les butées mécaniques des organes de manœuvre.

Le barrage peut être également surveillé à distance via le réseau de téléconduite.

10.6.1.2. MODE MANUEL

Dans ce mode de fonctionnement, chaque clapet sera manœuvré volontairement par un opérateur par l'intermédiaire de l'armoire de commande distante ou de la télécommande locale. L'opérateur choisira la manœuvre voulue (montée ou descente) et l'automatisme de commande déclenchera les commandes nécessaires.

L'amplitude des mouvements des bouchures est également dans cette mode limitée par les détecteurs de fins de course.

Ces manœuvres seront effectuées à « vue directe » des équipements depuis les piles ou le local de commande.

Ce mode permet l'installation du verrou de chômage.

10.6.1.3. MODE DEGRADE

Dans ce mode de fonctionnement, le clapet pourra être manœuvré, aussi bien à la montée qu'à la descente, en considérant :

- une perte complète et durable de l'alimentation en énergie électrique du site par le réseau de distribution

- des défaillances mineures du système de contrôle-commande telles que :
  - défaillance de l'automate programmable,
  - défaillance d'un composant de l'armoire de commande,
  - défaillance d'un moteur électrique,
  - défaillance d'une pompe hydraulique.

10.6.1.4. MODE ULTIME SECOURS

Dans une situation ultime, il est possible d'affaler les clapets gravitairement par action directe sur les vannes de décharges présentes au niveau des vérins.

10.6.1.5. SELECTION DES MODES

Les modes de marches sont organisés ainsi :

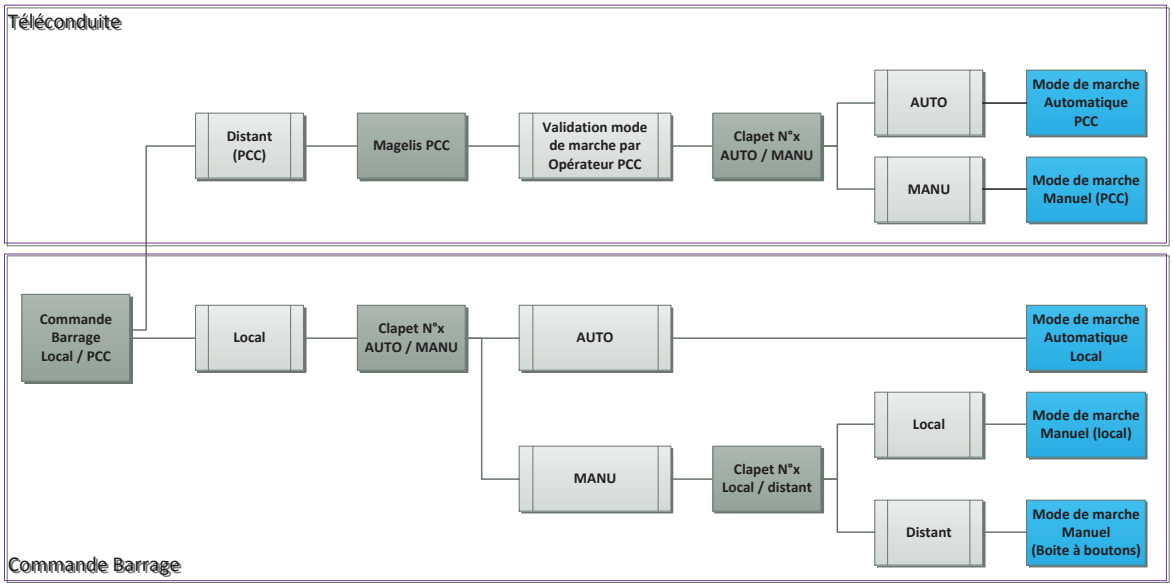


Fig. 63. Sélection des modes de marche

10.6.2. Modes de commande prévus sur la vanne aval de la passe à poissons

Les modes prévus à ce stade sont similaires à ceux prévus sur les clapets.

11. TELECONDUITE

11.1. SYSTEME DE TRANSMISSION DES INFORMATIONS : TELECONDUITE

11.1.1. Réseau de téléconduite existant sur la Petite Seine

11.1.1.1. PRESENTATION SUCCINCTE DU PROJET EN COURS

Dans le cadre de sa rénovation, le barrage entre dans le périmètre du projet de téléconduite des ouvrages sur l'itinéraire « Petite Seine ». Ce projet est en cours de réalisation et inclut déjà l'écluse de BEAULIEU.

Dans ce projet, la téléconduite est réalisée depuis un Poste de Commande Centralisé (PCC) situé à MOUY-SUR-SEINE. Le PCC comprend notamment un pupitre barrage qui permet à un opérateur de surveiller l'ensemble des barrages.

11.1.1.2. DESCRIPTION DU RESEAU DE TELECOMMUNICATION PREVU ENTRE LES OUVRAGES ET LE PCC

Le réseau IP est interconnecté via un support faisceau hertzien. Chaque écluse est associée à un pylône (P1 à P8), le pylône P3 ne correspond pas à une écluse mais au PCC.

Dans ce projet chaque barrage est prévu raccordé à l'écluse qui lui est associée.

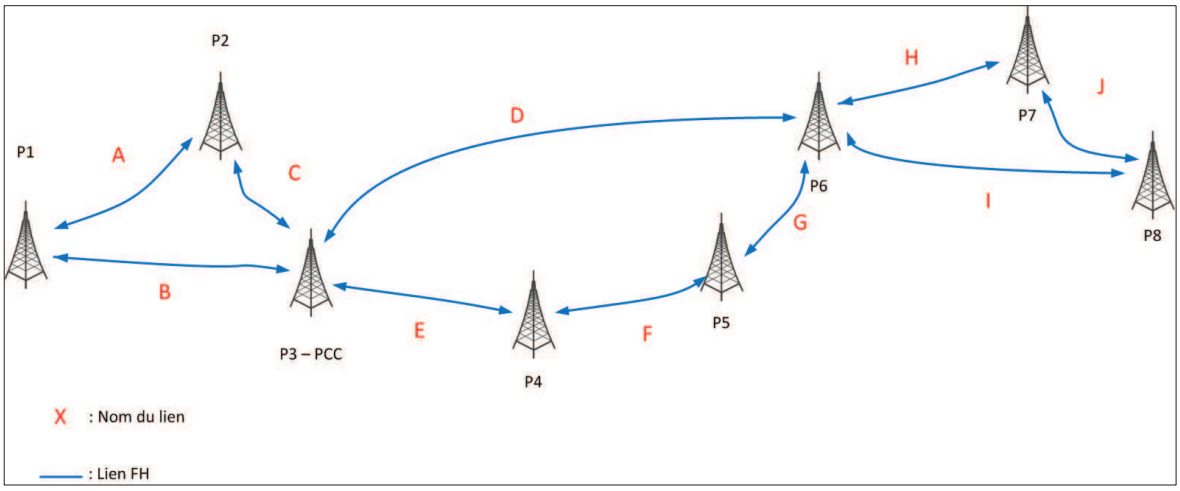


Fig. 64. Schéma du réseau tel que prévu dans le projet de téléconduite (extrait CCTP téléconduite)

11.1.2. Intégration du barrage de BEAULIEU

11.1.2.1. OBJECTIF

Afin de s'intégrer dans le réseau existant résultant du projet précédemment présenté, le barrage doit être interconnecté avec les 5 VLANs suivants déjà présents sur le site de l'écluse de BEAULIEU :

- Administration : utilisé uniquement pour l'administration des équipements réseaux
- Vidéo : raccordement des équipements vidéo (caméra, système d'enregistrement NVR, etc…)
- Process : raccordement des automates
- Téléphonie : raccordement de la Téléphonie sur IP
- Bureautique : raccordement des équipements bureautique (PC, imprimante, etc…)

L'objectif est donc de ramener ces 5 VLANs au niveau du barrage.

11.1.2.2. IMPLANTATION GEOGRAPHIQUE

L'écluse de BEAULIEU est située à une distance rectiligne de 1,6 km du barrage du même nom.

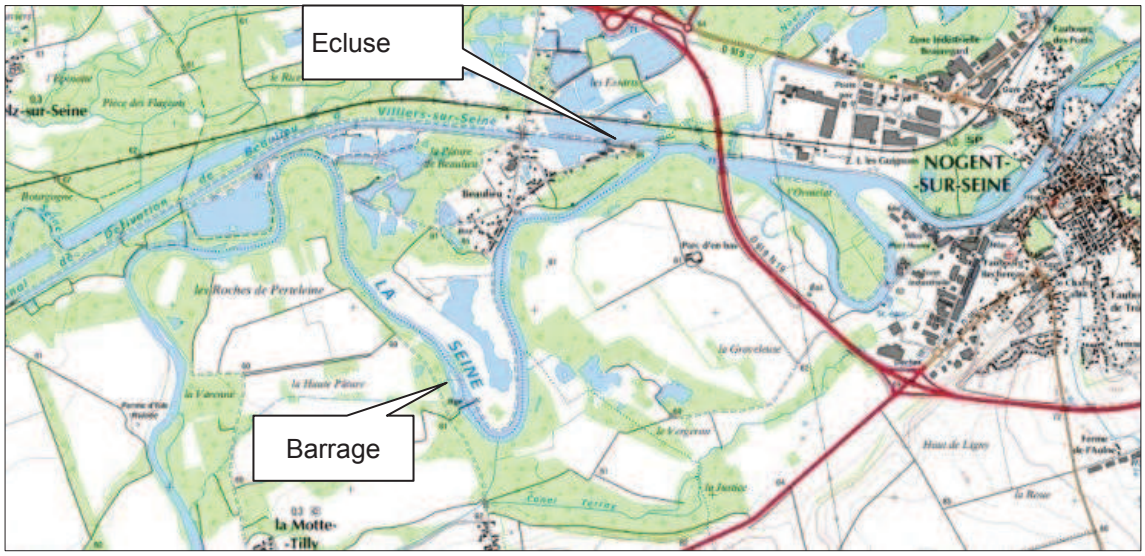


Fig. 65. Carte illustrant les localisations des 2 sites à connecter (IGN®)

Pour intégrer le barrage de BEAULIEU dans ce dispositif de téléconduite existant, il faut rattacher le barrage à son écluse par un faisceau hertzien.

Il s'agit de créer une liaison par faisceau hertzien entre le barrage de BEAULIEU et le pylône existant installé sur l'écluse de BEAULIEU.

Cela implique la mise en œuvre d'un pylône supportant le faisceau hertzien au niveau du barrage et l'implantation du même faisceau sur le pylône existant de l'écluse. Le pylône installé aura les mêmes caractéristiques que le pylône de l'écluse.

Le système mis en place, et afin d'être homogène, sera identique dans un souci de comptabilité et de standardisation, le faisceau fonctionnera sur 23 GHz et sera de type 1+1.

Les matériels seront reliés à un switch lui-même relié à un routeur qui sera interconnecté sur le routeur R8 de l'écluse. Ces matériels permettent d'avoir une architecture du faisceau Hertzien similaire aux sites de VILLIERS-SUR-SEINE ou à l'écluse de JAULNES.

Ci-dessous est illustré le schéma de principe établi sur les bases de la Documentation Technique d'Architecture (DTA) « Téléconduite de la Petite Seine - Lot Télécoms ».

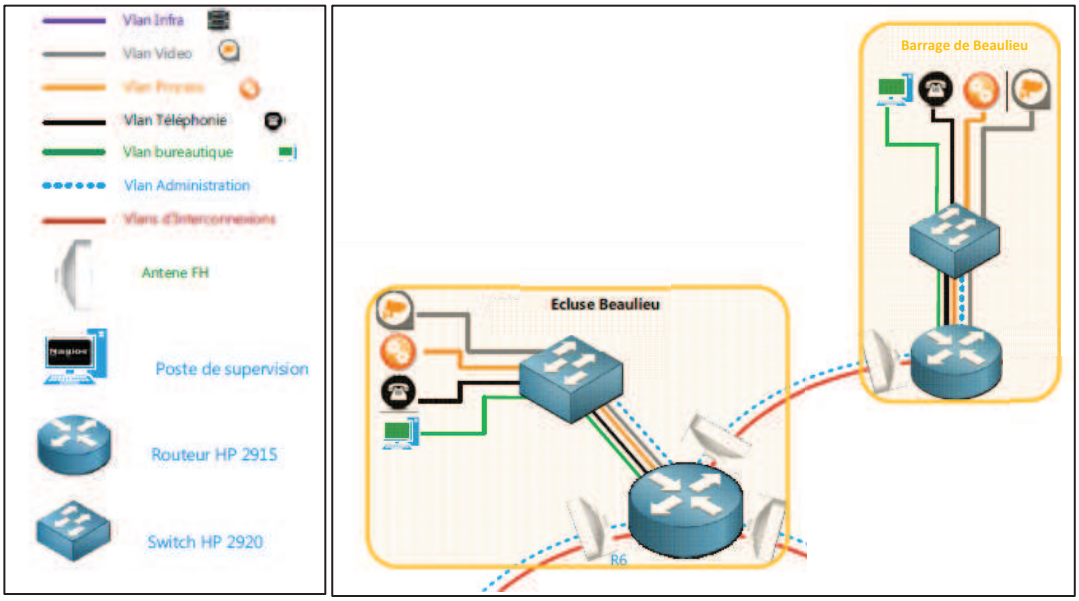


Fig. 66. Schéma de principe de la solution par faisceau Hertzien

11.2. CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DES EQUIPEMENTS

L'installation de téléconduite comporte principalement :

- Un pylône en treillis métallique de hauteur 35 m avec module d'intégration à l'identique du pylône VNF existant à Beaulieu



Fig. 67. Exemple du pylône de téléconduite mis en place sur l'écluse de Beaulieu

- Un faisceau hertzien avec un doublement de l'ODU pour secourir et remplacer le lien double.
- Une armoire technique de type « outdoor » fermée et installée en pied de pylône, contenant les matériels IDU des faisceaux hertziens, les alimentations secourues, le matériel de réseau, commutateurs routeurs, le câblage et la distribution.

Le pylône reposera sur une chaise métallique triangulaire. Il sera équipé d'un paratonnerre. Chacun des trois pieds de la chaise du pylône sera fondé sur des micros-pieux.

11.2.1. Réseaux divers

11.2.1.1. VIDEO SURVEILLANCE

Un système de vidéosurveillance est prévu afin de surveiller l'ouvrage à distance et assurer sa téléconduite. Plus en détail, la vidéo sera utilisée à :

- vérifier la position des vannes-clapets et la présence éventuelle d'embâcles,
- sécuriser l'ensemble de l'ouvrage,
- vérifier le bon fonctionnement de la PAP,
- surveiller le local technique.

Pour ces différentes fonctions, il est prévu :

- une caméra pour chacune des 4 passes du barrage,
- une caméra à l'amont de la passe à poisson,
- une caméra dédiée au local technique,
- une caméra générale.

Ces caméras sont toutes prévues fixes et dotées de la vision nocturne. Elles sont prévues fixées sur les projecteurs et couvrent un champ de vision similaire. Cette disposition évite également l'éblouissement de la caméra.

Le système sera relié au PCC uniquement (pas de visualisation sur place), avec transmission du faisceau d'images par la téléconduite.

11.2.1.2. ALARME ANTI INTRUSION

En complément de la vidéo surveillance, le site est prévu équipé de système d'alarme anti-intrusion afin de détecter notamment la présence dans le local technique.

11.3. MODIFICATION DU NOUVEAU POSTE DE CONDUITE CENTRALISE

L'intégration du barrage de BEAULIEU dans l'architecture de la téléconduite existante n'entraine pas de modifications matérielles au niveau du PCC car sa conception prenait déjà en compte la connexion future de cet ouvrage.

En revanche, le programme de l'IHM du PCC devra être modifié pour la prise en compte de l'automate barrage. Les contrôles et vérifications des débits devront également réalisés.

12. EXPLOITATION, SURVEILLANCE ET MAINTENANCE

12.1. EXPLOITATION DES EQUIPEMENTS

12.1.1. Mise en œuvre des opérations de batardage

12.1.1.1. GENERALITES

La mise à sec des passes de barrage sera réalisée à l'aide des batardeaux d'exploitation amont et aval qui seront fournis au titre du marché de reconstruction du barrage de BEAULIEU.

Pour rappel, le batardeau amont est constitué d'une poutre flottante servant d'appui supérieur à une rangée d'aiguilles en aluminium ; le batardeau aval est constitué d'un ensemble de poteaux verticaux en aluminium, logés dans des réservations du radier, et servant de rainures à des panneaux en aluminium. Il est à noter que chaque batardeau peut être utilisé seul.

La masse unitaire des aiguilles du batardeau amont, ainsi que celle des poutrelles du batardeau aval permettent leur manutention « à la main » par le personnel d'exploitation. Seule la manutention des poteaux du batardeau aval nécessite l'intervention de 2 exploitants ou l'utilisation du moyen de levage prévu sur l'embarcation légère.

12.1.1.2. UTILISATION A L'AMONT

La mise en œuvre d'une opération de batardage est prévue de la façon suivante, avec un bief compris entre RN et RN -10 cm :

- Installation de la poutre supérieure du batardeau flottante :
  - Mise à l'eau à l'aide des moyens de levage permanent,
  - Acheminement par flottaison à l'aide de deux embarcations légères ou du bateau « Le sanglier »,
  - Positionnement de la poutre entre les piles,
  - Coulée de la poutre sur ses appuis par ouverture des vannettes et remplissage gravitaire des ballasts,
  - Installation des verrous sur les piles ;
- Installation du rideau d'aiguilles :
  - nettoyage sans plongeur de l'échancrure présente sur le radier, depuis à la poutre à l'aide d'un outil dédié,
  - chargement puis acheminement des aiguilles depuis l'embarcation utilisée pour la poutre (ou à défaut depuis la passerelle),
  - mise en place « à la main » depuis la poutre batardeau,

- mise en place et fixation d'un film type polyane® d'étanchéification depuis la poutre (éventuellement avec l'aide d'un plongeur si utilisation de lest en pied de rideau) ;

- Illustration de cette opération :

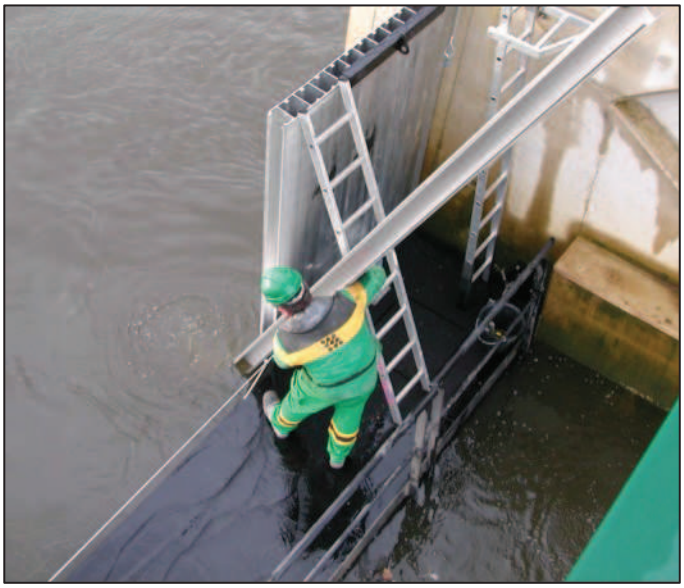


Fig. 68. Exemple de mise en œuvre d'un batardeau similaire (image SPRETEC)

- Retrait du rideau d'aiguilles : cette opération s'effectue comme son installation ;
- Retrait de la poutre supérieure du batardeau flottante : cette opération s'effectue comme son installation hormis pour la remise en flottaison qui s'effectue ainsi :
  - amenée sur la passerelle d'un compresseur pneumatique et de sa tuyauterie,
  - vidange des ballasts par remplissage à l'air comprimé,
  - fermeture des vannettes de vidange.

12.1.1.3. UTILISATION A L'AVAL

La mise en œuvre d'une opération de batardage est prévue de la façon suivante :

- Sécurisation préalable :
  - installation des garde-corps amovibles à l'aval des deux piles ou culées encadrant la passe à batarder,
  - installation de l'échelle amovible permettant de descendre depuis l'aval d'une pile dans la passe ;
- Installation des potelets
  - chargement des potelets sur l'embarcation dédiée (si leur stockage n'est pas réalisé sur celle-ci) et amenée
  - retrait des couvercles des puits à l'aide d'un plongeur

- installation des potelets dans les puits à l'aide d'un plongeur et du moyen de levage prévu sur l'embarcation,
- haubanage éventuel (si besoin d'un maintien vertical – fonction de la solution retenue en étude d'EXE).

- Installation des poutrelles :
  - chargement et amenée des poutrelles à l'aide de l'embarcation prévue,
  - mise en place des poutrelles.
- Retrait des équipements : ces opérations se déroule avec les mêmes taches que pour leur installation mais réalisées en ordre inverse.

12.1.1.4. EPUISEMENT ET MAINTIEN A SEC

Les batardeaux en place, la passe est alors mise à sec en quelques heures à l'aide de pompes de fort débit (hors fourniture car prévue loué). Une fois la passe vidangée, des pompes de plus faible capacité (inclus au Marché) permettent la reprise des fuites des batardeaux et le maintien à sec durant toute la durée des travaux.

Ces pompes se branchent au niveau de la passerelle sur des coffrets comportant des prises. Ces coffrets sont présents sur les deux piles étroites.

12.1.2. Exploitation des clapets

Les modes de pilotage des clapets équipant les quatre passes du barrage sont décrits au §10.6 du présent mémoire.

12.1.3. Exploitation de la passe à poissons

Les modes de pilotage de la vanne aval de la passe à poissons sont décrits au §10.6 du présent mémoire.

Les opérations complémentaires suivantes sont prévues exécutées ainsi :

- Nettoyage de la grille grossière amont :
  - fermeture des deux vannes de coupure amont afin de stopper le débit,
  - retrait manuel des embâcles à l'aide d'une gaffe ;
- Nettoyage de la passe à poissons, notamment des fentes :
  - fermeture des deux vannes de coupure amont afin de stopper le débit
  - retrait manuel des embâcles à l'aide d'une gaffe depuis la plateforme ;
- Batardage de la vanne aval :
  - fermeture des deux vannes de coupure amont afin de stopper le débit,
  - mise en place des poutrelles du batardeau aval à l'aide d'une paire de griffes,
  - mise à sec par pompage ;

- Piégeage des poissons :
  - installation de la grille fine en aval des vannes de coupure amont
  - installation des nasses depuis la plateforme
  - mise à sec par pompage.

12.2. PIECES DE RECHANGE

Il est prévu à ce stade des études de fournir à minima par le constructeur, les pièces de rechange suivantes dites « de premières nécessité ».

- Un jeu de joints pour clapet non percés,
- 10% de la visserie de maintien des joints,
- Un jeu de fins de course de chaque type,
- Un jeu d'indicateurs de position de chaque type,
- Un jeu d'électrodistributeurs de chaque type,
- Un jeu de joints de vérin de chaque type,
- Un jeu de bagues de frottement de chaque type,
- Un jeu de filtres de chaque type,
- Un jeu de flexibles de chaque type.

Le constructeur déterminera les éventuels compléments nécessaires au regard de son analyse des sous-ensembles critiques.

12.3. DOCUMENTATION

Les équipements seront accompagnés chacun de la documentation suivante :

- notice d'exploitation,
- notice de maintenance,
- schémas et plans définitif (tel que construit)
- documentation fournisseur.

12.4. FORMATION DU PERSONNEL

Toutes les données utiles à l'exploitation et à la maintenance des équipements dans les conditions optimales de gestion, de sécurité et de coût devront être transmises.

Des séances de formation des personnels d'exploitation et de maintenance seront prévues lorsque les équipements du barrage seront totalement opérationnels. Les personnes qui délivreront cette formation devront avoir une connaissance approfondie des matériels, de leur mode de fabrication

et de leur procédure de montage. Cette formation sera réalisée par le personnel de l'entreprise et ses éventuels sous-traitants.

Au minimum et afin de tenir compte de la disponibilité de tous les agents concernés, deux séances d'une demi-journée chacune sont prévues.

La notice d'exploitation, la notice de maintenance, les schémas et les plans serviront de support à ces séances de formation.

La formation sera scindée en deux modules :

- Module 1 : conduite des équipements, destiné à tous les agents d'exploitation et de maintenance :
  - conception générale des équipements,
  - explication générale du fonctionnement des différents sous-ensembles,
  - description détaillée des modes de fonctionnement,
  - explications détaillées du fonctionnement des panneaux de commande et de contrôle. La fonction de chaque composant externe et interne de ces panneaux sera décrite,
  - explication des défauts et de leur provenance,
  - pilotage et essais in situ des équipements,
  - description du plan de maintenance de premier niveau (surveillance, manipulations simples).
- Module 2 : maintenance des équipements, destiné aux agents de maintenance :
  - présentation du plan de maintenance préventive des équipements y compris l'explication des dispositions prises dans le cadre de la maintenance conditionnelle,
  - explication des procédures concernant les principales opérations de maintenance lourde,
  - mesures de sécurité à prendre lors des opérations la maintenance,
  - explication des procédures de mise hors d'eau des équipements.

12.5. ZONE D'EMBARQUEMENT RIVE DROITE EN AVAL, POUR L'ENTRETIEN DE L'OUVRAGE

L'embarcadère pour l'entretien du barrage existe déjà en aval du barrage existant, en rive droite. Il sera conservé pour le nouveau barrage. Si son état après intervention le permet, il sera conservé tel quel. Si des parties devaient être remplacées (garde-corps, revêtement, etc.), elles le seront en cohérence avec les éléments du nouveau barrage (métal déployé, bois de platelage, etc.).



Fig. 69. Embarcadère pour entretien du barrage

12.6. ZONE DE FRANCHISEMENT DES POISSONS ET DE CANOE-KAYAK

Le barrage actuel ne possède aucun dispositif de franchissement des canoës. Un dispositif permettant le franchissement du nouveau barrage par des embarcations légères du type **canoë/kayak** est prévu dans le cadre de la reconstruction du barrage. Il consistera à deux mises à l'eau, localisées à 150 m en amont du barrage et 80 m en aval respectivement. La distance en aval est limitée par l'emprise des inventaires faune et flore. Ce passage sera simplifié au maximum afin de s'intégrer facilement dans l'environnement. Les rampes de mise à l'eau seront installées en rive gauche, afin d'éviter le passage devant les locaux techniques du barrage ainsi que les pentes plus importantes en rive droite.

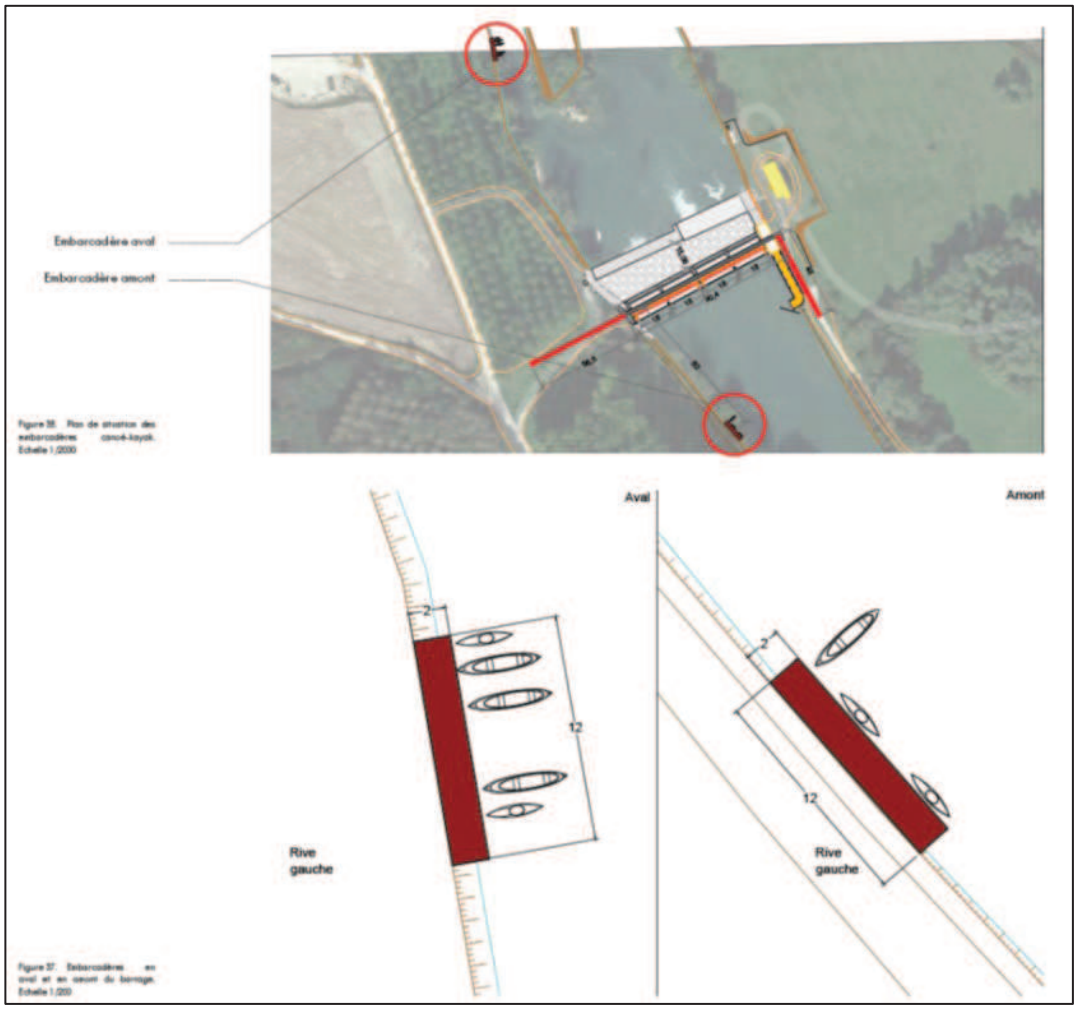


Fig. 70. Embarcadères a Canoë-kayak

13. HYDRAULIQUE

13.1. INTRODUCTION

Les études hydrauliques menées au niveau PRO ont pour objet la conception détaillée de l'ouvrage. Les études PRO ont porté en particulier sur les aspects suivants :

- La détermination des incidences hydrauliques du nouveau barrage en phase exploitation, en particulier lors des crues ;
- La détermination des incidences hydrauliques du nouveau barrage en phase travaux ;
- La gestion différenciée des clapets du nouveau barrage en tenant compte de la présence de la passe à poissons pour ne pas concurrencer son débit d'attrait.

Les études hydrauliques PRO ont été réalisées à l'aide du même modèle hydraulique TELEMAC 2D qui a été mis en œuvre pour les études AVP. Le détail de la construction du modèle, des données de base utilisées et du calage est présenté dans le rapport d'étude AVP.

13.2. DIMENSIONNEMENT HYDRAULIQUE DU BARRAGE

Le nouveau barrage ne doit pas provoquer d'élévation de la ligne d'eau en amont en période de crue. La crue considérée pour cette vérification est la crue de premier débordement (Q = 160 m^3/s) puisque c'est cette crue pour laquelle les incidences maximums sont attendues.

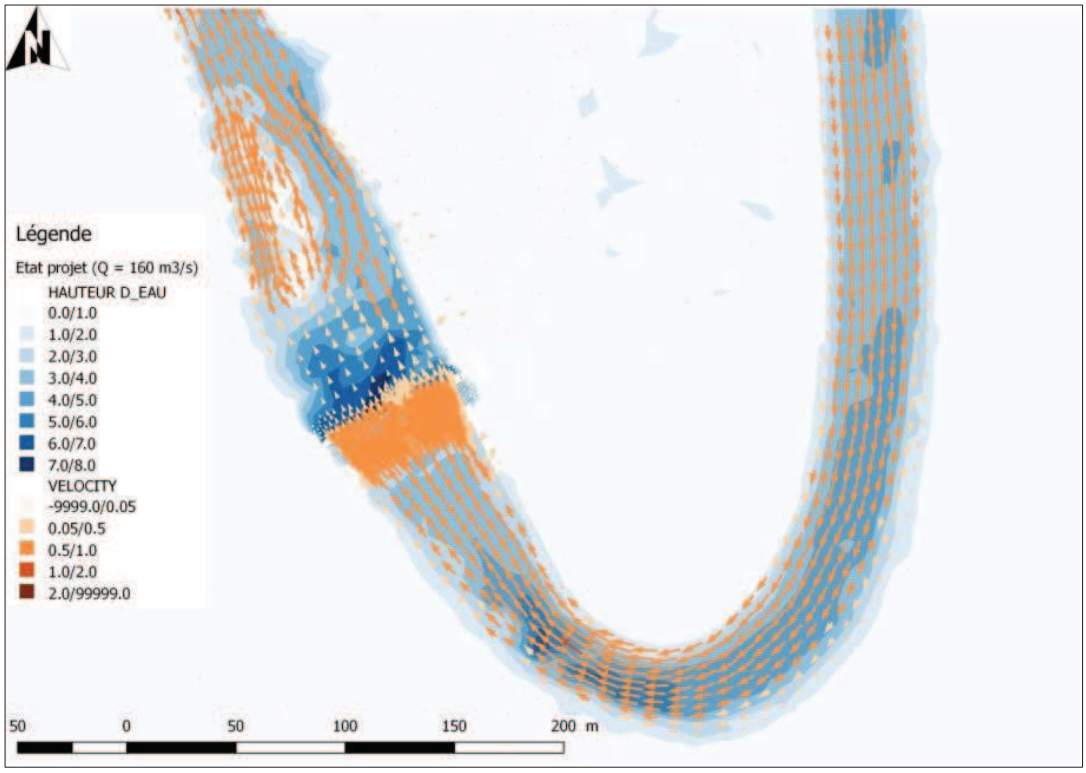


Fig. 71. Résultat de simulation du modèle 2D - état projet (crue de premier débordement Q = 160 m³/s)

Le tableau suivant présente les impacts du nouveau barrage calculés au moyen du modèle hydraulique 2D au droit de quatre localisations en amont :

- amont immédiat du barrage,
- amont de l'écluse de Beaulieu,
- aval de la boucle de Nogent-sur-Seine,
- pont de Nogent-sur-Seine.

Localisation	État actuel (m NGF)	État projet (clapet = 17,50 m) (m NGF)	ΔZ (cm)
Amont immédiat du nouveau barrage	61,137	61,160	2,3
Amont de l'écluse de Beaulieu	61,381	61,399	1,8
Aval de la boucle de Nogent-sur-Seine	61,466	61,482	1,6
Pont de Nogent-sur-Seine	61,605	61,617	1,2

Tabl. 7 - Impacts de la géométrie du nouveau barrage sur la ligne d'eau en amont pour la crue de premier débordement (Q=160 m3/s)

La localisation de ces points est présentée à la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** ci-dessous.

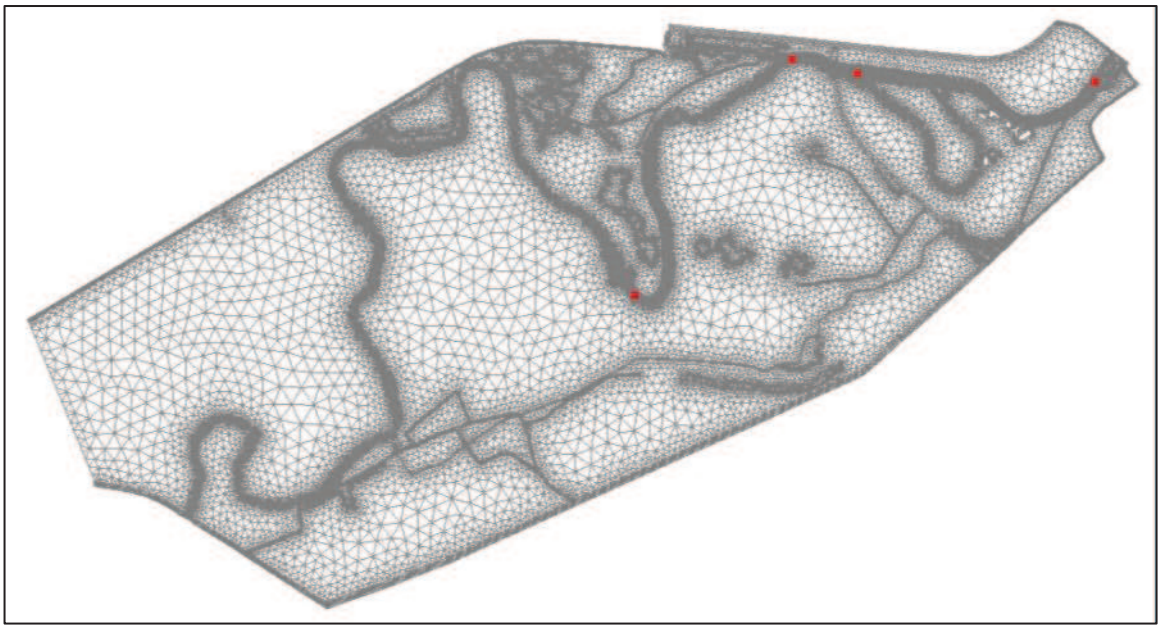


Fig. 72. Localisation des points d'observation de niveaux d'eau (points rouges)

Les résultats de simulation indiquent un rehaussement de ligne d'eau en amont immédiat du barrage de l'ordre de 2 cm par rapport à l'état actuel. Le rehaussement de la ligne d'eau

correspond à un débordement en limite de lit mineur et qui n'affecte aucun enjeu à l'amont immédiat du barrage.

À l'amont de l'écluse de Beaulieu, le rehaussement de la ligne d'eau en état projet par rapport à l'état actuel est de l'ordre de 1,8 cm. Le site de l'écluse de Beaulieu est le premier enjeu en amont du barrage (enjeu d'habitats en rive droite de la Seine). Cependant, il est remarqué que la berge droite à cet endroit est plus haute que la cote de crue. En effet, la cote de la berge à cet endroit est située à l'altitude 62 m NGF environ tandis que la cote de la crue de débordement (Q=160 m^3/s) est à 61,4 m NGF. Par conséquent, le nouveau barrage ne provoquera aucun débordement en lit majeur pouvant impacter la zone habitée à ce niveau.

Au pont de Nogent-sur-Seine, le nouveau barrage provoque un rehaussement de la ligne d'eau de 1,2 cm par rapport à l'ancien barrage. De façon similaire à la zone en amont de l'écluse de Beaulieu, ce secteur est occupé par des zones d'habitation et des zones industrielles des deux côtés du lit mineur. Cependant, les résultats de la simulation ne montrent aucun débordement en lit majeur pouvant atteindre les zones d'enjeux.

En conclusion, les résultats montrent que le nouveau barrage conduit au rehaussement de la ligne d'eau de l'ordre de 1 à 2 cm pour un débit de 160 m^3/s. Étant donné que ces impacts correspondent à une crue de premier débordement et qu'ils n'atteignent aucun enjeu situé en lit majeur, ils peuvent être jugés comme acceptables.

13.2.1. Modalités de gestion des clapets

Les modalités de gestion des clapets du barrage ont pour objectif principal de maintenir le niveau de retenue normale dans le bief amont et plus particulièrement, au niveau de l'écluse de Beaulieu. Les valeurs de retenue normale et de débit d'abattage qui définissent la plage de régulation du barrage seront inchangées par rapport au barrage actuel. La relation hauteur/ débit produite par un barrage de navigation est schématisée à la figure suivante.

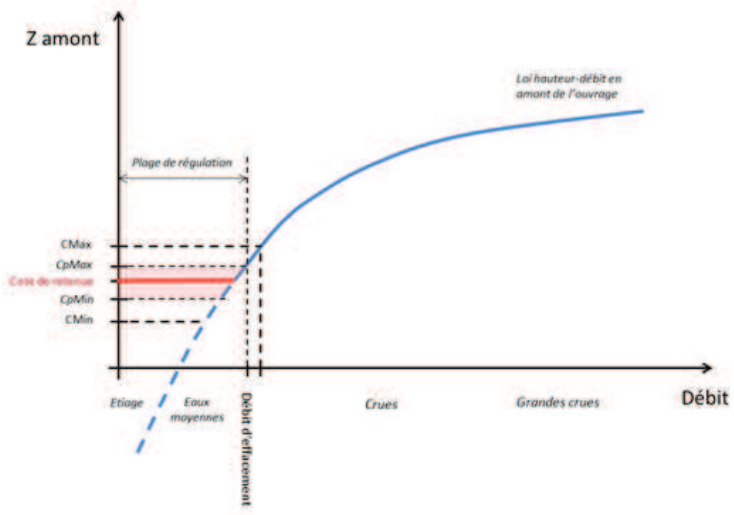


Fig. 73. Exemple de loi Z/Q en amont d'un barrage de navigation

Les modalités de gestion du barrage correspondent aux modalités classiques d'un barrage à clapets : partant de la position la plus haute pour un débit d'étiage, les clapets sont progressivement abaissés à mesure de l'augmentation de débit de la Seine. Au moment du débit d'abattage, les clapets de toutes les passes seront complètement abaissés dans le radier (cf. exemple figure suivante).

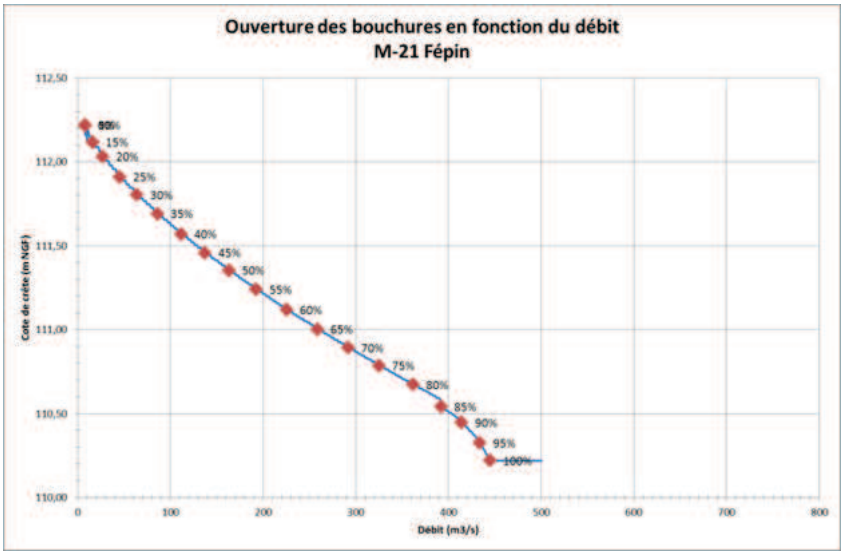


Fig. 74. Exemple de loi d'abaissement des clapets d'un barrage de navigation

En plus de ces modalités générales, la gestion des clapets devra tenir compte de la proximité de la passe à poissons de façon à ce que le débit qui transite par le barrage ne concurrence pas le débit d'attrait de la passe à poissons. Ainsi les débits faibles de la Seine seront évacués par la passe la plus proche de la passe à poissons (passe no 4). Au fur et à mesure de l'augmentation du débit, celui-ci sera réparti sur un nombre de clapets croissant de façon à ce que l'écoulement utilise une grande longueur déversant. Les passes no 4 et no 3, puis l'ensemble des passes seront utilisées (cf. schémas de principe en figure suivante).

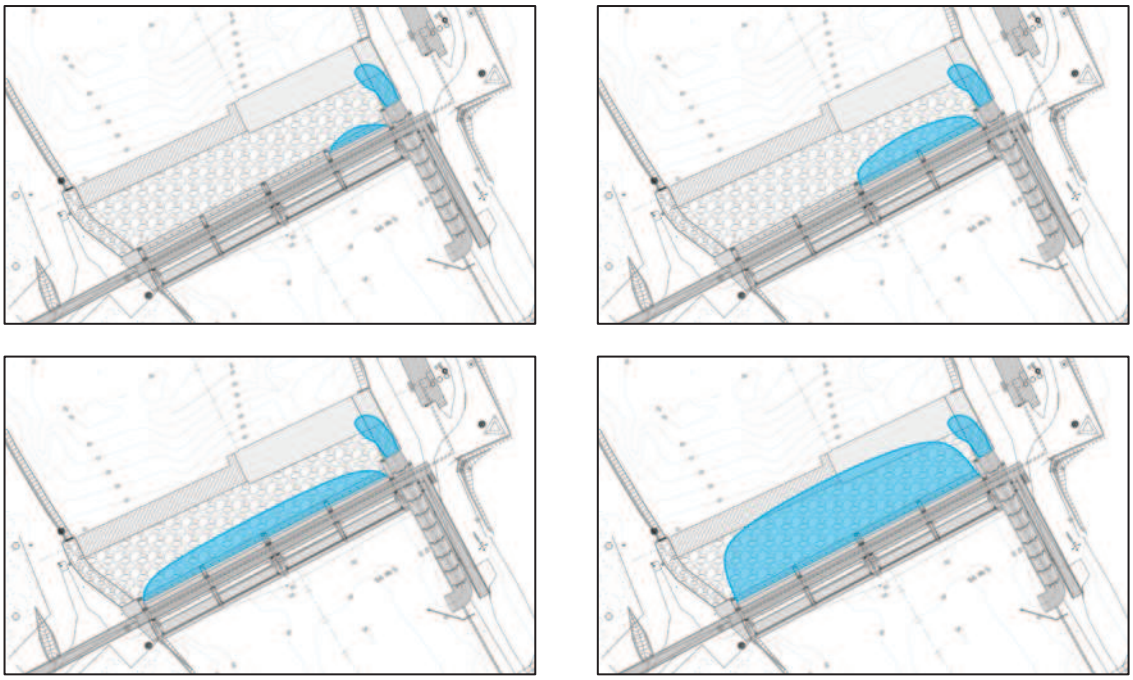


Fig. 75. Schématisation de la gestion des clapets tenant compte de la proximité de la passe à poissons

La gestion des clapets sera assurée par un automate qui sera installé dans le centre de commande du barrage. Les principes et les objectifs qui devront être suivis par l'automate seront définis précisément dans le CCTP travaux. Il sera également prévu une possibilité d'ajustement de l'automate de façon à pouvoir procéder au réglage fin de la gestion des clapets après leur mise en place et selon les conditions d'écoulement qui seront effectivement observées.

13.3. RADIER AVAL DU BARRAGE

13.3.1. Introduction

La zone du radier aval d'un barrage de navigation correspondant au radier situé en aval du clapet est fortement sollicitée car elle reçoit directement les écoulements en provenance des clapets. Par extension, la zone située en aval du barrage et qui permet le raccordement entre le génie civil du barrage et le bief naturel aval est également sollicitée et doit faire l'objet d'une attention particulière.

Les paragraphes suivants apportent des éléments justificatifs complémentaires par rapport aux éléments déjà fournis dans le dossier AVP.

13.3.2. Dimensionnement hydraulique du radier aval

Les conditions d'écoulement dans l'état actuel et dans l'état projet ont été calculées au stade AVP (cf. figure ci-dessous). Selon la valeur du débit de la Seine et par suite, selon le niveau dans le bief aval, le ressaut hydraulique qui se formera en aval des clapets sera dénoyé, puis ensuite noyé par le niveau aval.

D'après les résultats de calcul, la transition dénoyé/ noyé a lieu pour 44 m3/s, on retient 45 m3/s. Les caractéristiques de l'écoulement seront donc :

- En-dessous de 45 m3/s :
- Le niveau aval est en-dessous du niveau de profondeur conjuguée du ressaut. Le ressaut est dénoyé. Le nombre de Froude est compris entre 8 à 5,5, ce qui correspond à un ressaut stable. La dissipation d'énergie de l'écoulement déversant peut être localisée au pied aval des clapets, au niveau du radier béton ;
- Au-dessus de 45 m3/s :
- Le niveau aval est au-dessus de la profondeur conjuguée du ressaut. Le ressaut est noyé. Le nombre de Froude est compris entre 5,5 et 4, ce qui correspond à un ressaut stable à oscillant. La dissipation d'énergie ne peut pas être localisée au pied aval des clapets, mais elle s'étend dans le bief aval du barrage.

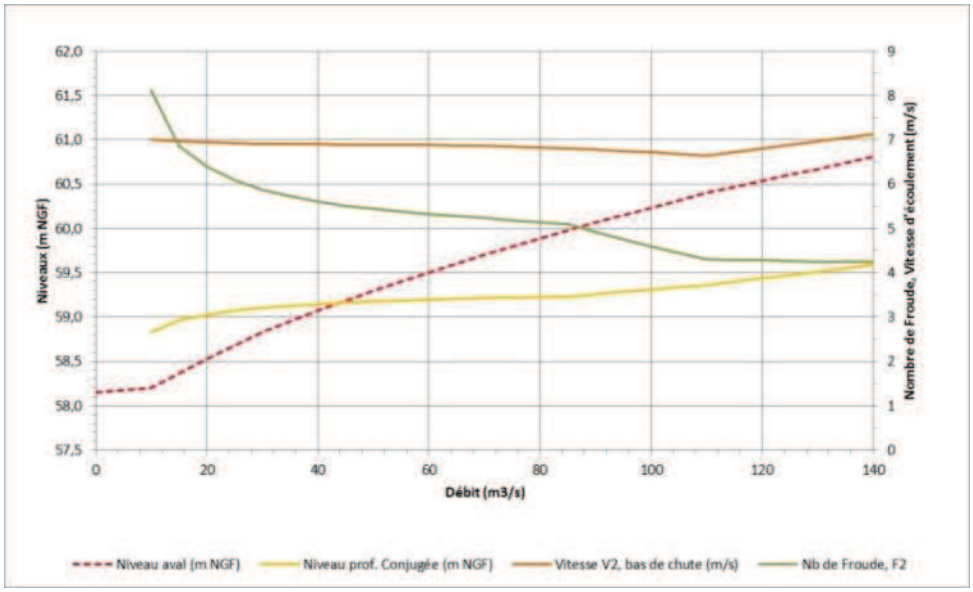


Fig. 76. Caractéristiques des écoulements en aval radier du nouveau barrage

Le calcul de la position du ressaut au niveau de l'aval radier a été effectué en prenant l'hypothèse d'un fond plat et en tenant compte des grandeurs suivantes :

- La longueur du clapet projetée sur l'horizontale ;
- La longueur du jet plongeant à partir de la crête du clapet ;
- La longueur du ressaut proprement dit.

Tous calculs faits, la longueur théorique en fond plat qui permettra de contenir le ressaut est de l'ordre de 11 m. Cependant, l'hypothèse d'un fond plat serait valable par exemple pour un coursier en aval d'un barrage de retenue, sans obstacle particulier en aval du ressaut.

Pour un barrage de navigation, il est habituellement nécessaire de ménager une cuvette pour loger le clapet en position abaissée. Il est possible de tirer parti de l'existence de cette cuvette pour raccourcir le radier. Le rebord de la cuvette à l'extrémité du radier va favoriser le blocage du ressaut et son maintien au niveau du génie civil du radier.

La cuvette dont le rôle est d'abord de contenir le clapet en position abaissée, puis de contenir le ressaut en régime dénoyé, a ainsi été réduite à 7 m (cf. coupe en figure suivante). S'il était envisagé de réduire encore cette longueur par recherche d'optimisation économique, il serait préconisé de recourir à des essais sur modèle physique.

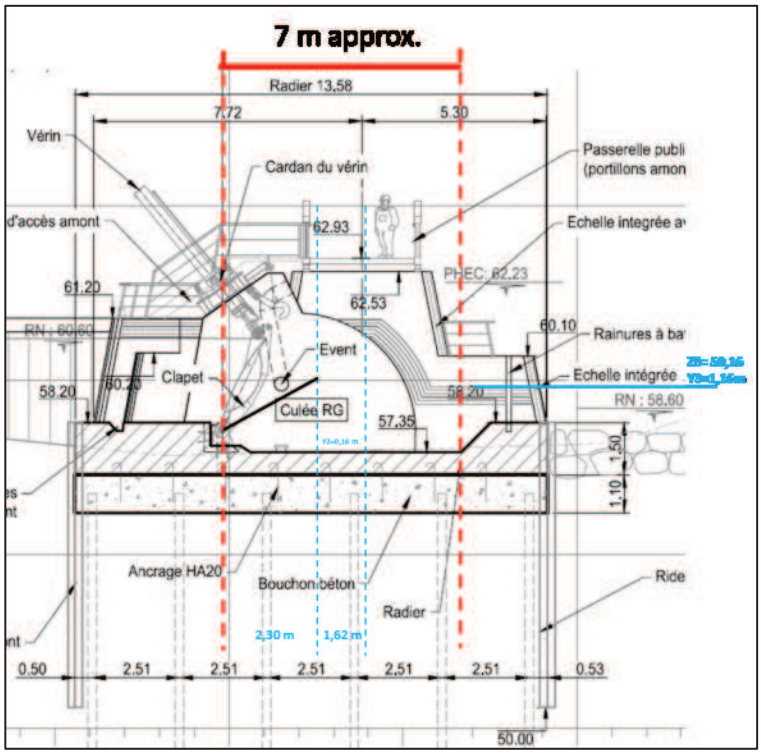


Fig. 77. Coupe du radier aval du barrage illustrant la longueur de la cuvette

13.3.3. Espace inter-barrages

Au-delà de la valeur de débit d'environ 45 m3/s, il a été vu que le ressaut en aval des clapets sera noyé par le niveau aval de la Seine. Le ressaut ne sera plus localisé au niveau du radier béton du barrage, mais concernera le tronçon aval de Seine. La longueur de Seine dans laquelle s'effectuera la dissipation est difficile à déterminer.

Dans le cas du barrage de Beaulieu, le tronçon aval correspond à l'espace entre le nouveau et l'ancien barrage. Pour éviter des risques d'érosion dans ce tronçon, il a été préconisé une protection par enrochements liaisonnés.

13.4. INCIDENCES HYDRAULIQUES DU NOUVEAU BARRAGE EN PHASE EXPLOITATION

13.4.1. Incidences hydrauliques du nouveau barrage en phase exploitation

13.4.1.1. PRINCIPE

La réglementation issue de la Loi sur l'Eau amène à la recherche d'une transparence complète du nouvel ouvrage vis-à-vis de la crue de référence. Le respect de cette transparence se traduit par deux principes:

- La non-aggravation de la ligne d'eau au droit des enjeux situés dans le lit majeur;
- La conservation du volume de stockage en zone inondable.

13.4.1.2. IMPACT DU PROJET SUR LES LIGNES D'EAU

Au stade AVP, l'analyse des incidences hydrauliques du nouveau barrage pour la crue de référence a été effectuée avec une approche qualitative à dire d'expert. Au stade PRO, les incidences hydrauliques du projet ont été analysées quantitativement au moyen de la modélisation hydraulique.

Pour le stade PRO en plus du nouveau barrage en lit mineur, il est nécessaire de prendre en compte les éléments de projet situés en lit majeur et qui pourraient par leur présence produire une incidence hydraulique ; c'est le cas de la passerelle d'accès qui s'étend de part et d'autre du barrage en lit majeur. La position des rampes d'accès de la passerelle n'a pas été modifiée par rapport au stade AVP et elles se trouvent :

- En rive gauche : transversalement au lit majeur, dans le prolongement de l'axe du barrage ;
- En rive droite : longitudinalement à la berge et à la passe à poissons.

Toutes les rampes seront soutenues par des structures métalliques portées tous les 6 m par un portique : les appuis des rampes seront donc largement espacées et sans aucun remblai en lit majeur. Étant donné la surface très faible des pieux d'appui, ils n'ont pas été représentés dans le maillage du modèle hydraulique.

La crue de référence retenue est la crue centennale (Q100). Le débit centennal à Nogent sur Seine est compris entre 684 m^3/s (débit écrêté par les lacs-réservoirs amont) et 720 m^3/s (débit naturel non écrêté). Par sécurité, la plus forte valeur de 720 m^3/s est retenue pour cette étude.

Les calculs réalisés pour la crue de référence sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Localisation	État actuel (m NGF)	État projet (clapet = 17,50 m) (m NGF)	ΔZ (cm)
Amont immédiat du nouveau barrage	62,156	62,166	1,0
Amont de l'écluse de Beaulieu	62,817	62,819	0,2
Aval de la boucle de Nogent-sur-Seine	63,259	63,259	0,0
Pont de Nogent-sur-Seine	63,605	63,605	0,0

Tabl. 8 - Impacts de la géométrie du nouveau barrage sur la ligne d'eau en amont en cas de crue centennale (Q=720 m³/s)

La cartographie des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement issues de la modélisation hydraulique pour la crue de référence sur le secteur d'étude est également présentée ci-dessous.

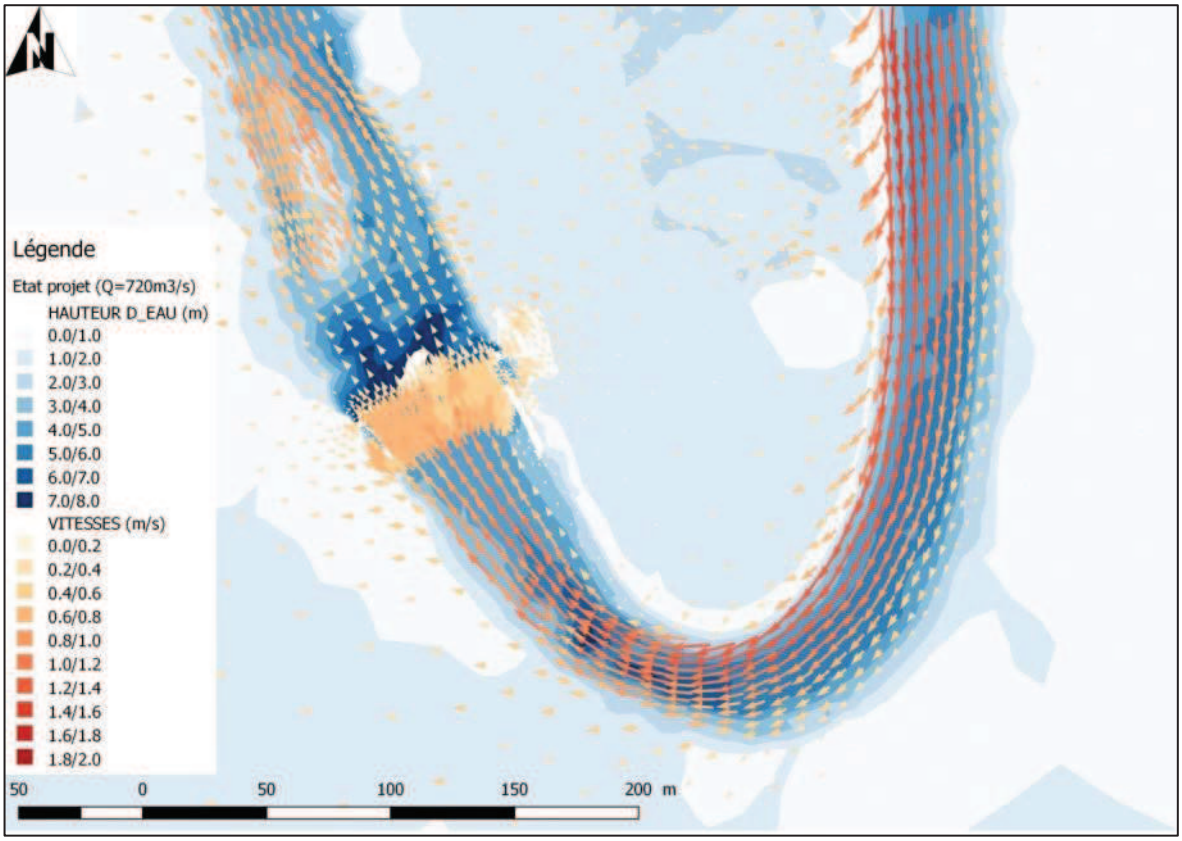


Fig. 78. Résultat de simulation du modèle 2D - état projet (crue centennale Q = 720 m³/s)

Les calculs réalisés montrent que pour cette crue, les impacts du nouveau barrage sur la ligne d'eau sont les suivants :

- De l'ordre de 1 cm en amont immédiat du nouveau barrage ;
- Jusqu'à 0.2 cm à l'amont de l'écluse de Beaulieu ;
- Aucune différence de niveau d'eau dans la zone située entre le Pont de Nogent-sur-Seine et la boucle de Nogent-sur-Seine, zone correspondant aux zones d'enjeux.

Ces résultats montrent que le nouveau barrage a un impact négligeable sur la ligne d'eau, en particulier au niveau des enjeux identifiés.

Par ailleurs, le projet ne comporte aucun remblai en lit majeur, ce qui entraîne un impact nul sur les volumes de stockage de crue en lit majeur. En conclusion, la transparence hydraulique du projet est assurée.

13.4.2. Impacts du nouveau barrage sur les stations hydrométriques

Le nouveau barrage de navigation de Beaulieu sera situé à l'amont immédiat du barrage actuel et à l'aval de Nogent-sur-Seine. Les stations hydrométriques les plus proches du barrage de Beaulieu sont :

- La station de Pont-sur-Seine, située 15 km à l'amont de Nogent-sur-Seine ;
- La station de Bazoches-les-Bray, située 36 km à l'aval de Nogent-sur-Seine.

Selon les résultats précédents, le nouveau barrage produira au pont de Nogent-sur-Seine un rehaussement du niveau d'eau d'environ 1 cm pour la crue de premier débordement (Q=160 m^3/s) et aucun rehaussement pour la crue de référence.

Pour la crue de premier débordement, sachant que la station de Pont-sur-Seine est située à 15 km à l'amont de Nogent-sur-Seine, le rehaussement de la ligne d'eau attendu à la station de Pont-sur-Seine sera nécessairement bien inférieur à 1 cm. Le rehaussement attendu à cette station sera donc très inférieur à la précision de la détermination de la loi hauteur-débit de la station. Par conséquent, il peut être conclu que l'impact hydraulique du nouveau barrage sur la station hydrométrique de Pont-sur-Seine sera négligeable.

La station de Bazoches-les-Bray, quant à elle, est située à l'aval du nouveau barrage de Beaulieu. Le nouveau barrage ne modifiera pas les débits ni les niveaux dans le bief aval, ce qui permet d'affirmer que l'impact hydraulique du nouveau barrage sur la station de Bazoches-les-Bray sera rigoureusement nul.

13.5. INCIDENCES HYDRAULIQUES DU NOUVEAU BARRAGE EN PHASE TRAVAUX

13.5.1. Phasage des travaux

Les travaux se dérouleront en 4 phases, correspondant à 3 saisons :

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

Il est indiqué que la période hydraulique favorable de mi-juin à mi-octobre (4 mois) n'est pas suffisante pour réaliser les travaux. Il est donc proposé d'étendre la période de travaux du mois de mai au mois de novembre, ce qui permet de couvrir une période de 6 mois de travaux. Néanmoins, en raison des épisodes de crue et de hautes eaux plus probables sur ces deux mois, il sera nécessaire de prévoir des dispositions particulières pour la sécurisation du chantier et l'enlèvement du batardeau de chantier.

13.5.2. Incidences hydrauliques en phase travaux

Les simulations en phase travaux ont été effectuées en intégrant dans le modèle la présence du batardeau de chantier. Étant donné que les deux phases 2 et 3 de travaux sont assez similaires d'un point de vue hydraulique et que la phase de travaux la plus pénalisante ne peut pas être définie à priori, ces deux phases de travaux ont été simulées. Les résultats obtenus sont assez similaires en termes de débit de débordement, de l'ordre de 120 m^3/s. Ce débit de 120 m^3/s correspond à l'ordre de grandeur de la crue de chantier.

Nous présentons ci-après les deux résultats de simulations qui correspondent aux phases 2 et 3 respectivement.

13.5.2.1. PHASE 2 DE TRAVAUX – CONSTRUCTION DES DEUX PASSES RIVE GAUCHE

La moitié de la rivière rive gauche sera obstruée par le batardeau pour construire des deux dernières passes. L'écoulement de la Seine empruntera les deux passes rive droite du nouveau barrage avec clapets abaissés. À l'aval du nouveau barrage, le barrage actuel ne sera pas encore démoli.

L'impact de la phase 3 de travaux a été estimé par la mise en place d'un batardeau obstruant la moitié de la rivière rive gauche pour le débit de chantier de Q = 120 m^3/s.

Le tableau suivant présente la comparaison de niveaux d'eau pour le débit de chantier en phase 3 de travaux et en état actuel au droit de quatre localisations en amont : amont immédiat du nouveau barrage, amont de l'écluse de Beaulieu, et aval de la boucle de Nogent-sur-Seine et pont de Nogent-sur-Seine.

Localisation	État actuel (m NGF)	Phase 3 travaux (m NGF)	ΔZ (cm)
Amont immédiat du nouveau barrage	60,679	61,051	37,2
Amont de l'écluse de Beaulieu	60,902	61,207	30,5
Aval de la boucle de Nogent-sur-Seine	60,970	61,261	29,1
Pont de Nogent-sur-Seine	61,111	61,361	25,0

Tabl. 9 - Impacts sur la ligne d'eau en amont en phase travaux avec le débit de chantier (phase 3)

Les résultats de la simulation sont similaires à ceux de la phase 2 de travaux. Ils montrent que les niveaux d'eau à 4 localisations sont supérieurs aux niveaux d'eau en état actuel, mais restent inférieurs aux niveaux d'eau en état actuel à la première crue de débordement (Q=160 m^3/s). Cela confirme l'impact négligeable du nouveau barrage en phase travaux pour le débit de chantier (Q=120 m^3/s).

La cartographie des hauteurs d'eau et de vitesses d'écoulement issues de la modélisation hydraulique pour ce débit de chantier est également présentée ci-dessous.

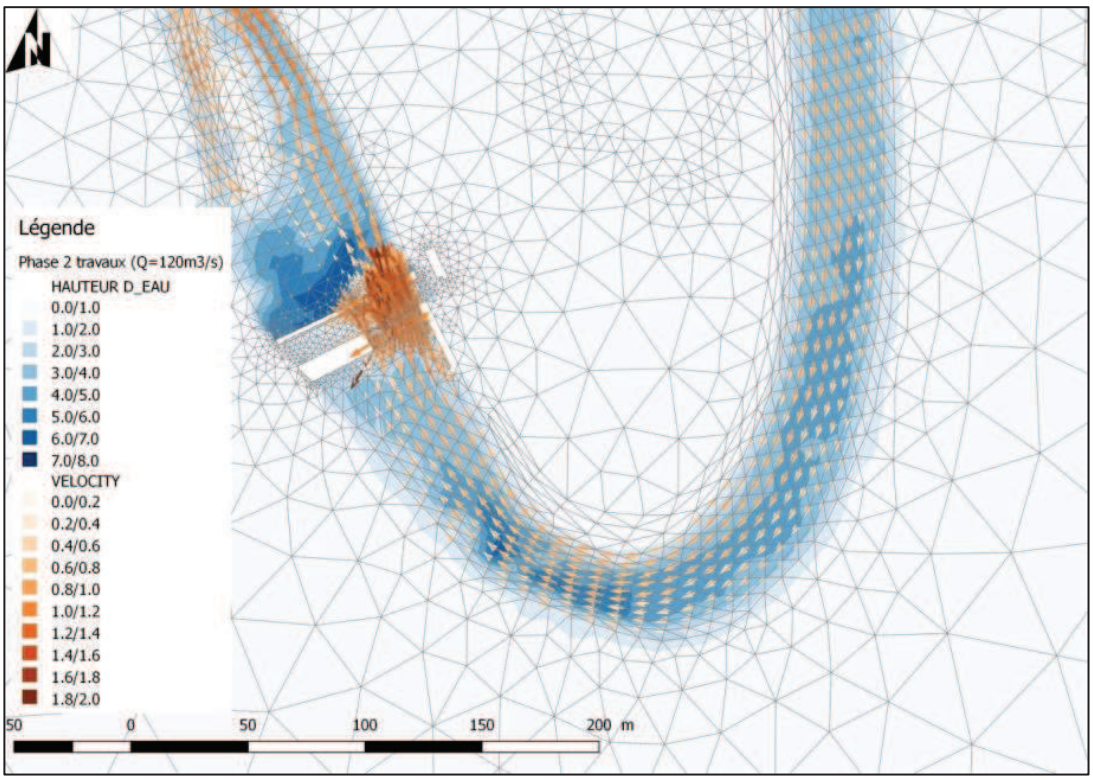


Fig. 79. Résultat de simulation du modèle 2D – phase 2 travaux (Q = 120 m³/s)

Les résultats de la simulation de la phase 3 montrent que la ligne d'eau reste contenue dans le lit mineur, même en présence du batardeau de chantier. Les vitesses d'écoulement maximales dans la passe rive droite sont de 2,0 m/s.

Ensuite, les niveaux d'eau de ces deux phases de travaux au pont de Nogent-sur-Seine ont été comparés avec la cote de vigilance de crue à la station de Nogent-sur-Seine. Le tableau suivant montre que les niveaux d'eau calculés au pont de Nogent-sur-Seine en phase travaux sont inférieurs à la cote de vigilance de crue définie.

	Phase 2 travaux	Phase 3 travaux	Vigilance de crue
Cote m NGF	61,264	61,361	61,8

Tabl. 10 - Comparaison entre les niveaux d'eau en phase travaux et la cote de vigilance de crue à Nogent-sur-Seine

13.5.2.2. PHASE 3 DE TRAVAUX – CONSTRUCTION DES DEUX PASSES RIVE DROITE ET DE L'OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT PISCICOLE

Cette phase concerne la construction des passes 3 et 4 de la rive droite du nouveau barrage et de la passe à poissons. La moitié de la rivière rive droite sera obstruée par le batardeau et l'écoulement empruntera la passe rive gauche (passe déversoir) du barrage actuel.

L'impact de cette phase de travaux a été estimé par la mise en place d'un batardeau obstruant la moitié de la rivière rive droite pour le débit de chantier de Q = 120 m^3/s.

Le tableau suivant présente la comparaison des niveaux d'eau pour le débit de chantier en phase 3 de travaux et en état actuel au droit de quatre localisations en amont : amont immédiat du nouveau barrage, amont de l'écluse de Beaulieu, aval de la boucle de Nogent-sur-Seine et pont de Nogent-sur-Seine.

Localisation	État actuel (m NGF)	Phase 2 travaux (m NGF)	ΔZ (cm)
Amont immédiat du nouveau barrage	60,679	60,912	23,3
Amont de l'écluse de Beaulieu	60,902	61,089	18,7
Aval de la boucle de Nogent-sur-Seine	60,970	61,149	17,9
Pont de Nogent-sur-Seine	61,111	61,264	15,3

Tabl. 11 - Impacts sur la ligne d'eau en amont en phase travaux avec le débit de chantier (phase 2)

Les résultats de simulation montrent que les niveaux d'eau en phase 3 de travaux sont supérieurs aux niveaux d'eau en état actuel pour le débit de chantier. Néanmoins, ces niveaux d'eau en phase travaux sont inférieurs aux niveaux d'eau en état actuel à la crue de premier débordement (Q=160 m^3/s). D'ailleurs, les résultats du modèle indiquent que la totalité de l'écoulement est contenu dans le lit mineur, et aucun débordement en lit majeur n'atteint les zones enjeux. En conclusion, la phase 3 de travaux pour le débit de chantier de 120 m^3/s conduit au rehaussement de la ligne d'eau en amont, mais ne concerne cependant aucun enjeu recensé.

La cartographie des hauteurs d'eau et de vitesses d'écoulement issues de la modélisation hydraulique pour ce débit de chantier est également présentée ci-dessous.

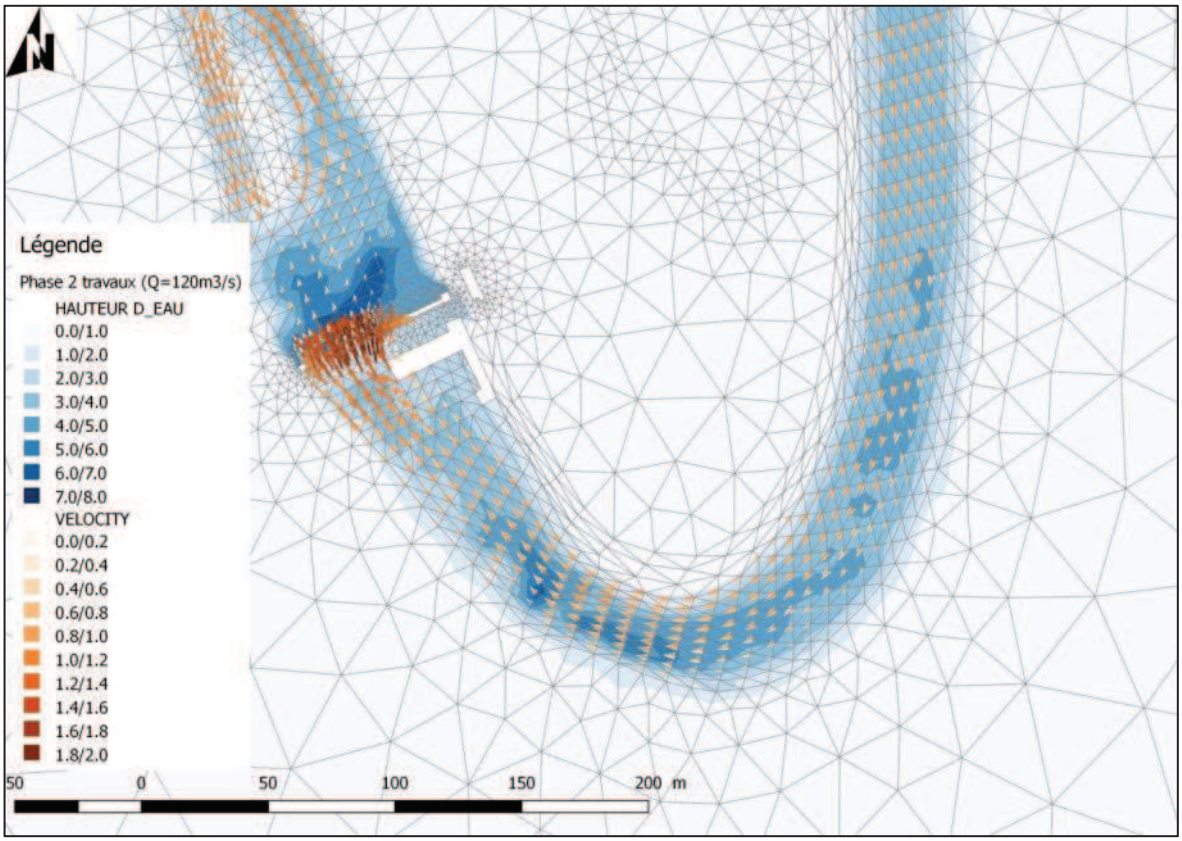


Fig. 80. Résultat de simulation du modèle 2D – phase 3 de travaux (Q = 120 m³/s)

Le débit de chantier a été déterminé de telle sorte que les incidences hydrauliques en phase travaux soient acceptables. En effet, pour ce débit, la ligne d'eau reste contenue dans le lit mineur, même en présence du batardeau de chantier. La 1.1.1.1 montre que les plus fortes vitesses d'écoulement se trouvent dans la passe ouverte (rive gauche) et sont de l'ordre de 1,5 à 2 m/s. Ces valeurs de vitesses sont compatibles avec l'activité de chantier.

En conclusion, les résultats obtenus pour les phases 2 & 3 de travaux n'ont montré aucune incidence significative pour les enjeux existants. De même, les 'eau ainsi que des vitesses d'écoulement en phase travaux avec le débit de chantier de 120 m^3/s.

Dans le cas de la prévision d'une crue importante, au-delà de 120 m3/s, l'enlèvement du batardeau de chantier est prévu. Dans ce cas, le lit mineur de la Seine retrouvera sa capacité d'écoulement initiale et l'incidence des travaux sur les enjeux amont deviendra très limitée, voire nulle.

14. ENROCHEMENTS DE PROTECTION

14.1. FOND AVAL DU NOUVEAU BARRAGE

14.1.1. Objectif des travaux

Les objectifs remplis par les travaux de protection aval seront les suivants :

- Garantir la stabilité du futur barrage sur le long terme, de manière à éviter tout risque de migration vers ce dernier d'un phénomène érosif ;
- Garantir la protection des fondations de l'ancien barrage (parties non-démolies), en luttant contre un phénomène de creusement susceptible de les déstabiliser ;
- Favoriser la dissipation d'énergie en aval du barrage, en rapport avec les conclusions des études hydrauliques. En particulier, l'intensité élevée des vitesses calculées au niveau de la section contractée de la chute en aval de l'organe de bouchure (partie amont du ressaut), de l'ordre de 7 à 8 m/s en configuration dénoyée du ressaut.

14.1.2. Nature des travaux

Pour les vitesses calculées au niveau de la section contractée de la chute en aval de l'organe de bouchure (partie amont du ressaut), de l'ordre de 7 à 8 m/s, une protection par enrochement libre est écartée car jugée non-pérenne. A titre indicatif, l'application de la formule d'Isbach (issue de l'expérimentation), conduirait à retenir des blocs de diamètre D_{50} de 3,20 m, ce qui n'est pas admissible.

Ce jugement est confirmé par la notice « STC n°81.2 Barrages mobiles en rivières – Détermination des pertes de charges et dimensionnement des aval-radiers en enrochements », éditée par le Service technique central des ports maritimes et voies navigables.

Dans ce cas, le CEREMA préconise la pose d'un **enrochement de gros diamètre liaisonné au béton**. Les enrochements liés sont capables de résister à des vitesses de courant extrêmes supérieures aux vitesses calculées ici.

Nous préconisons la pose d'un enrochement sur deux couches. Un diamètre D_{50} de 80 cm est retenu.

A noter que le dimensionnement du batardeau conduit à des longueurs de palplanches suffisantes pour que celles-ci constituent à l'amont un rideau diminuant le gradient hydraulique et à l'aval un parafouille de protection contre une érosion régressive.

14.1.3. Caractéristiques de la protection

La protection aura les caractéristiques dimensionnelles suivantes :

- Matériaux : _____ enrochement liaisonné ;
- Surface à protéger : _____ (approx.) 1 000 m² ;
- Longueur de la protection : _____ (approx.) 16 m entre les deux barrages ;
- Epaisseur de la couche d'enrochements : _____ 1,50 m (en deux couches) ;
- Diamètre D_{50} de l'enrochement : _____ 0,80 m ;
- Diamètre D_{10} de l'enrochement : _____ 0,63 m ;
- Diamètre D_{90} de l'enrochement : _____ 1,01 m ;
- Poids P_{50} de l'enrochement : _____ 710 kg.
- Poids P_{10} de l'enrochement : _____ 355 kg.
- Poids P_{90} de l'enrochement : _____ 1 420 kg.

14.2. PROTECTION BERGES AVAL RIVE GAUCHE

Dans une configuration du barrage reconstruit, la berge située en rive gauche entre les deux ouvrages se situera partiellement hors d'eau. Il s'agira donc de la protéger au moyen d'une défense de berge. D'un point de vue technico-économique, une solution de type enrochement libre est à privilégier.

La protection aura les caractéristiques suivantes :

- Matériaux : _____ enrochement libre ;
- Diamètre D_{50} de l'enrochement : _____ 0,80 m ;
- Poids P_{50} de l'enrochement : _____ 710 kg ;
- Largeur (projetée) en plan de la protection : _____ 5,50 m ;
- Longueur en plan de la protection : _____ 24,0 m ;
- Pente du talus : _____ 3 H / 2 V ;
- Niveau en tête de talus : _____ 61.10 m NGF ;
- Pied de talus : _____ 58.2 m NGF ;

Cet enrochement sera buté en pied par la protection du fond aval décrite au § précédent.

15. DEMOLITION DU BARRAGE EXISTANT

La déconstruction du barrage aura lieu lors de la 3ème saison de travaux, une fois que le nouveau barrage soit complètement opératif. Elle impliquera la dépose de terres, éléments de maçonnerie, éléments métalliques et en bois, entre autres. Ces éléments sont à valoriser dans la mesure du possible. Son traitement n'est pas prévu sur site.

Les travaux de démolition consistent :

- Au décaissement en rive gauche du radier existant sur 50m de longueur à la cote 58.10m NGF, afin d'homogénéiser la cote du fond sur l'ensemble de l'emprise du barrage ancien.
- A la déconstruction des culées gauche et droite ainsi que de la pile centrale.
- Au retrait des hausses Pasqueau et Chanoine.

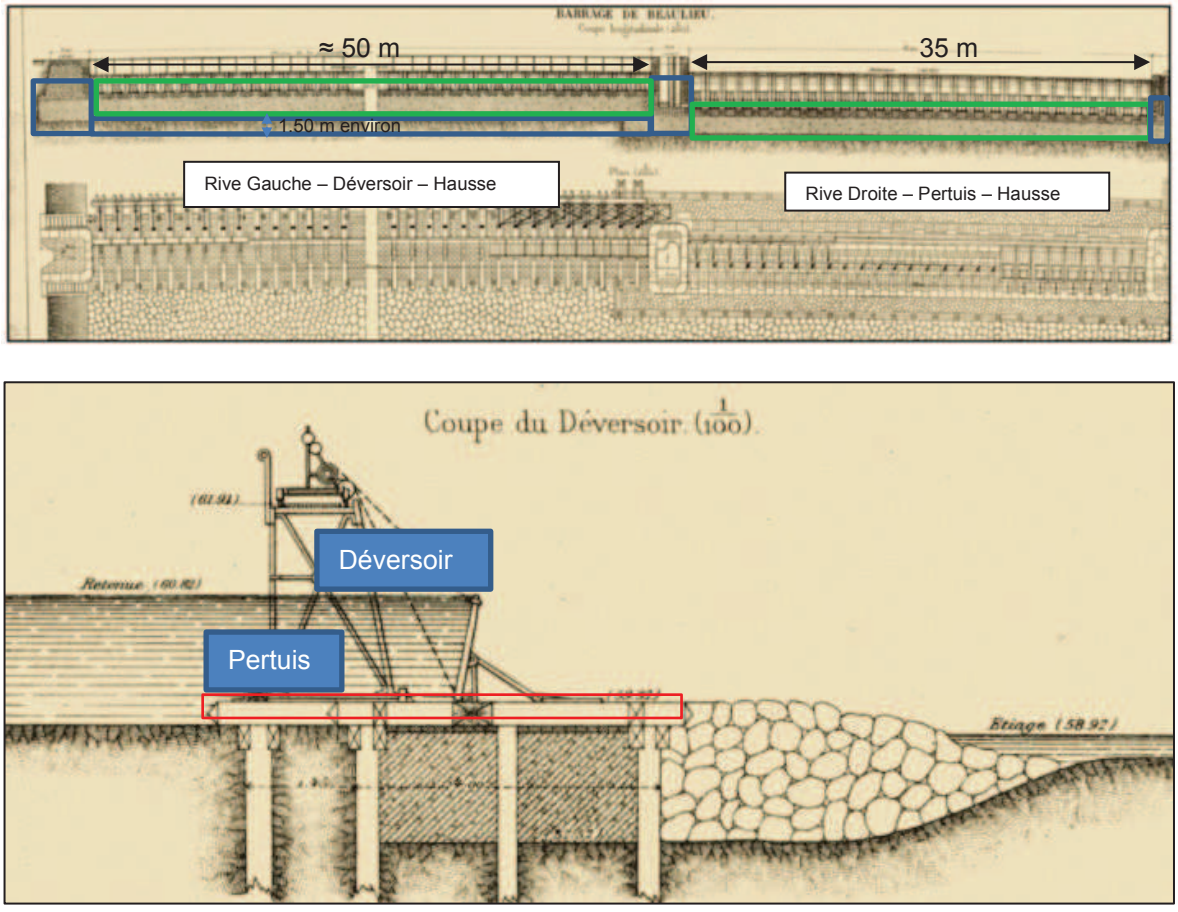


Fig. 81. Zones de déconstruction