

**NOTE TECHNIQUE****PASSE A POISSONS DE RHINAU – DIMENSIONNEMENT HYDRAULIQUE  
ET PISCICOLE****Projet** RHINAH2020OPE012**Référence** H-30575713-2021-000058**Date** 15/12/2021**Indice** B

105 page(s)

annexe(s)

<b>Résumé</b>	<i>Renseigner le résumé ici (et non pas dans la FID)</i>
<b>Unité propriétaire</b>	CIH
<b>Sous-Unité</b>	GU MARCKOLSHEIM-RHINAU
<b>Site</b>	MARCKH \ MARCKOLSHEIM
<b>Entité rédactrice</b>	30575713 - SERVICE ENVIRONNEMENT ET SOCIETE
<b>Auteur(s)</b>	Lionel DUMOND/ Grégory GUYOT
<b>EOTP</b>	RHINAH2020OPE012
<b>Accessibilité</b> (Classification et règles de protection des informations d'EDF SA, DSIE-2017-000046.)	Restreint <b>Confidentiel</b> (Lister nominativement en page 2 Diffusion : les personnes destinataires) <b>Restreint</b> (Indiquer explicitement en page 2 Diffusion : les destinataires (nom ou fonction) ou de manière implicite le périmètre restreint retenu : Projet, groupe de personnes, ...) <b>Interne</b> (Indiquer le périmètre d'accès retenu : EDF SA, Direction, Division, Entité, Projet, Liste de diffusion) <b>Libre</b> (Accessible à tout public interne ou externe EDF SA)

SIGNATURES						
Date	Rédacteur(s)		Vérificateur(s)		Approbateur(s)	
	Nom	Visa	Nom	Visa	Nom	Visa
24/02/2021	L. DUMOND		M. GANT		A. MOURRAT	
	G. GUYOT	GG	J. VERMEULEN (§ 4.4.3.11, § 4.4.3.16 et § 4.4.3.17)		G. BROUSSE	GB

LIEU DE CONSERVATION	
Original papier	Original numérique
ALX	ALX

DIFFUSION INTERNE AU CIH			
Destinataire	Département / Service	Nb ex.	Format
G. BROUSSE	Projets	1	num

DIFFUSION EXTERNE AU CIH			
Destinataire	Organisme	Nb ex.	Format

HISTORIQUE DES MODIFICATIONS		
Ind.	Date	Nature des évolutions
A	24/02/2021	Création du document
B	13/12/2021	Révision suite à remarques de l'UP

## SOMMAIRE

<b>1. INTRODUCTION</b>	<b>7</b>
1.1 CONTEXTE	7
1.2 OBJECTIFS DE LA NOTE	7
1.3 PRINCIPE DE LA SOLUTION	8
<b>2. DONNEES D'ENTREE</b>	<b>9</b>
2.1 FONCTIONNEMENT DE L'AMENAGEMENT	9
2.2 HYDROLOGIE	11
2.3 ESPECES MIGRATRICES A CONSIDERER	14
2.3.1 Analyse des passages à Gamsheim	14
2.3.2 Espèces cibles retenues	15
2.4 GAMME DE FONCTIONNEMENT	16
2.5 NIVEAUX D'EAU	17
2.5.1 En amont de l'usine	17
2.5.2 En aval de l'usine	19
<b>3. CONCEPTION GENERALE</b>	<b>20</b>
3.1 PRINCIPES DE BASE	20
3.2 ALIMENTATION EN DEBIT	21
3.3 ÉTUDE PRELIMINAIRE DES ECOULEMENTS EN AVAL	22
3.3.1 Observations des écoulements	22
3.3.2 Modèle numérique Saturne – préqualification des entrées	25
3.4 CARACTERISATION DES ENTREES PISCICOLES	26
3.4.1 Implantation théorique	26
3.4.2 Etude sur modèles - EPFL	28
3.4.3 Configuration finale proposée	31
3.5 ANATOMIE DE L'OUVRAGE	32
<b>4. DIMENSIONNEMENT</b>	<b>34</b>
4.1 PRINCIPES GENERAUX DE DIMENSIONNEMENT	34
4.2 RAPPELS SUR LES GAMMES DE FONCTIONNEMENT	35
4.3 PREDIMENSIONNEMENT	36
4.3.1 Evaluation des pertes de charge linéaires	36
4.3.2 Evaluation des pertes de charge singulières	37
4.3.2.1 Coudes	37
4.3.2.2 Local vidéo	37

4.3.2.3	Injections de débit.....	37
4.3.2.4	Station de capture .....	37
4.3.2.5	Prégrille amont .....	38
4.3.2.6	Sortie piscicole .....	38
4.3.3	Estimation de la répartition des débits entre la rive droite et la rive gauche.....	38
4.4	DIMENSIONNEMENT DES ELEMENTS DE L'OUVRAGE.....	39
4.4.1	Procédure .....	39
4.4.2	Alimentation en eau .....	39
4.4.3	Détermination des lignes d'eau .....	41
4.4.3.1	Entrées piscicoles.....	41
4.4.3.2	Canaux d'alimentation des entrées piscicoles .....	44
4.4.3.3	Injection du débit d'attrait rive droite .....	45
4.4.3.4	Délivrance et répartition du débit d'attrait rive droite .....	47
4.4.3.5	Passe à bassins rive droite.....	49
4.4.3.6	Injection du débit d'attrait rive gauche.....	52
4.4.3.7	Délivrance et répartition du débit d'attrait rive gauche .....	52
4.4.3.8	Passe à bassins rive gauche .....	52
4.4.3.9	Canal de transfert rive gauche-rive droite .....	53
4.4.3.10	Passe à bassins de transfert.....	54
4.4.3.11	Local de vidéo-comptage.....	55
4.4.3.12	Délivrance du débit complémentaire.....	58
4.4.3.13	Canal de liaison amont-aval .....	60
4.4.3.14	Station de capture .....	61
4.4.3.15	Passe à bassins amont.....	74
4.4.3.16	Canal de la sortie piscicole .....	76
4.4.3.16.1	Prise d'eau .....	76
4.4.3.16.2	Vanne de condamnation.....	79
4.4.3.16.3	Grille grossière .....	80
4.4.3.16.4	Canal.....	80
4.4.3.16.5	Pertes de charge linéaires.....	80
4.4.3.16.6	Pertes de charge singulières .....	81
4.4.3.17	Prise d'eau pour le turbinage du débit d'attrait.....	82
4.4.3.17.1	Critères d'acceptabilité du design.....	82
4.4.3.17.2	Configurations d'écoulement testées.....	82
4.4.3.17.3	Design retenu.....	82

## ILLUSTRATIONS

Figure 1 - Vues aériennes de l'aménagement de Rhinau .....	9
Figure 2 - Vue aérienne de l'usine de Rhinau .....	10
Figure 3 - Débits moyens mensuels du Rhin à Bâle (station LHG 2220, bassin versant contrôlé de 35 929 km <sup>2</sup> ) .....	11
Figure 4 - Débits classés à Bâle (station LHG 2220) .....	11
Figure 5 - Comparaison débit à Bâle – débit turbiné à Rhinau .....	13
Figure 6 – Espèces cibles.....	15
Figure 7 – Localisation des sondes de mesure de niveau .....	17
Figure 8 - Enregistrements sonde (100 m en amont usine) et capteur (50 m en amont usine) entre décembre 2015 et octobre 2016.....	18
Figure 9 - Répartition des niveaux mesurés par la sonde 100 m en amont de l'usine de Rhinau.....	18
Figure 10 - Illustration en coupe de l'écoulement en sortie d'aspirateur .....	23
Figure 11 - Vue zénithale de la zone d'observation des macro-structures d'écoulement .....	23
Figure 12 – Description des écoulements pour différentes configurations de turbinage été 2015 .....	24
Figure 13 - Simulation numérique code Saturne du développement d'un jet de rive à l'aval immédiat des turbines (5 m <sup>3</sup> /s) .....	25
Figure 14 – Configurations d'entrées de rive envisageables .....	26
Figure 15 – simulation code Saturne de l'écoulement sur une configuration défavorable d'entrée de rive (54°) – 5 m <sup>3</sup> /s dans l'entrée piscicole et 1400 m <sup>3</sup> /s turbinés .....	26
Figure 16 – Vue des aspirateurs, des alvéoles et des loges.....	27
Figure 17 – Principe d'une galerie collectrice .....	28
Figure 18 – Mesures de profils de vitesse en sortie des aspirateurs des turbines par mesure à l'ADCP .....	29
Figure 19 – Macrostructures d'écoulement ; exemple de comparaison de résultats observés sur site et simulés à l'EPFL .....	29
Figure 20 - Profils verticaux de vitesse ; exemple de comparaison de résultats observés sur site et simulés à l'EPFL .....	30
Figure 21 – Configuration d'entrée de rive retenue.....	31
Figure 22 – Configuration finale des entrées rive droite .....	32
Figure 23 – Schéma fonctionnel de l'ouvrage de montaison de Rhinau .....	33
Figure 24 - Coefficient de débitance des fentes (Ballu, 2017 et Wang, 2010) .....	36
Figure 25 – Macro-rugosités de fond dans les canaux .....	44
Figure 26 – Pertes de charge aux grilles de débit d'attrait (Formule de Raynal et al. 2012).....	46
Figure 27 – Dimensions des bassins des passes à poissons .....	49
Figure 28 – Macrorugosités sur le radier des bassins des passes .....	50
Figure 29 – Chanfreinage des angles dans les bassins de retournement .....	51
Figure 30 – macrorugosités de fond au local de comptage de Kembs .....	56
Figure 31 : Vue en plan du design retenu rectangle orange montre le domaine de modélisation 3D .....	57
Figure 32 - Piège à poissons de Gamsheim .....	62
Figure 33 - Eléments et dimensions de la nasse de capture .....	63
Figure 34 - Structure du goulet anti-retour.....	65
Figure 35 - Structure de la cage .....	65

Figure 36 – Gambsheim : couverture de la partie supérieure de la cage .....	66
Figure 37 - Structure de la cuve.....	67
Figure 38 - Structure de la zone de repos.....	68
Figure 39 - Structure de la face amont .....	68
Figure 40 – Insertion de la nasse dans le radier .....	69
Figure 41 – Brosses de protection .....	69
Figure 42 – St Cricq – goulotte de restitution.....	70
Figure 43 – Vidange du bassin de stabulation (principe) .....	71
Figure 44 –Grilles rotatives de tri .....	71
Figure 45 – Vue d’ensemble station de capture.....	73
Figure 46 – Dimensions des bassins des passes à poissons .....	74
Figure 47 – Vues 3D en amont, élévation et plan du design retenu de la sortie piscicole .....	76
Figure 48 – Schéma de principe de la sortie piscicole.....	77
Figure 49 : Coupe verticale du champ de vitesse à l’amont immédiat du masque .....	78
Figure 50 : Vue en perspective de la prise d’eau avec la géométrie. Les figures suivantes montrent les écoulements à l’intérieur de la prise d’eau avec cette même perspective.....	78
Figure 51 : Vue des lignes d’écoulement à l’entonnement de la sortie piscicole .....	79
Figure 52 : Vue des zones de vorticité à l’entonnement de la sortie piscicole .....	79
Figure 53 : Vue en coupe des vitesses selon l’axe du canal au droit du masque (Dans le cercle rouge).....	79
Figure 54 – Marcrugosit��s du radier du canal de liaison de la sortie piscicole .....	81
Figure 55 : Vues 3D amont, plan et élévation du design retenu .....	83
Figure 56 : Vue des vitesses à la prise d’eau usinière (Niveau 172.50 NN) .....	83
Figure 57 : Vue des critères Q à la prise d’eau usinière (Niveau 172.50 NN) .....	83

## ANNEXES

ANNEXE 1 – Cassiopée : passe à bassins amont.....	86
ANNEXE 2 – calcul des lignes d’eau dans la passe rive droite .....	93
ANNEXE 3 – Cassiopée : calcul des lignes d’eau dans la passe rive gauche.....	97
ANNEXE 4 – Cassiopée : calcul des lignes d’eau dans la passe de transfert .....	101
ANNEXE 5 – Sensibilité de l’ouvrage aux valeurs extrêmes de niveau.....	103

## 1. INTRODUCTION

### 1.1 CONTEXTE

Le Rhin étant un fleuve international, les objectifs de "Continuité Ecologique" sont discutés et définis sous l'égide de la CIPR (Commission Internationale pour la Protection du Rhin).

Celle-ci a lancé un programme "Rhin 2020 : programme pour le développement durable du Rhin", qui prévoit le rétablissement de la continuité écologique du cours d'eau principal. Cet enjeu, intrinsèquement lié à la mise en œuvre de la DCE, se traduit, pour les 10 ouvrages hydroélectriques français, par le besoin d'assurer la migration piscicole.

Les aménagements d'Iffezheim, Gamsheim, Strasbourg et Gerstheim ayant été traités, la question se pose aujourd'hui pour les trois aménagements situés immédiatement à l'amont, à l'aval du Vieux Rhin.

En 2017, compte tenu des particularités techniques des aménagements de Rhinau, Marckolsheim et Vogelgrun, la France a proposé une alternative à la réalisation de dispositifs de franchissement plus « classiques » (passe à bassins, rivière de contournement ou encore ascenseur...). Le projet consistait en la réalisation d'une passe à poissons à bassin mobile à Rhinau permettant la capture des poissons puis leur transport en bateau dans le Vieux Rhin ainsi que dans les biefs intermédiaires (secteurs Rhinau-Marckolsheim et Marckolsheim-Vogelgrun). Cette technique permettait de maximiser le taux de transfert des poissons grands migrateurs (en particulier le saumon) vers les zones de reproduction présumées du Vieux-Rhin et vers la Suisse, tout en transférant les poissons holobiotiques alternativement dans les différents biefs (Tétard et Travade, 2015).

Le projet a été jugé trop artificiel et trop axé sur les grands migrateurs par les pays membres de la CIPR. A l'été 2018, face à la pression de ces pays, l'Etat Français a annoncé son retrait du projet de capture-transport sur l'aménagement de Rhinau à la plénière de la Commission de la CIPR. Suite à cette annonce, le projet EDF a également été stoppé.

En 2020, pour faire face et protéger le pays des conséquences économiques et sociales de la crise de la Covid-19, le gouvernement français a mis en place un plan de soutien, réponse immédiate et forte pour amortir le premier choc. En septembre dernier, le gouvernement a souhaité amplifier les efforts mis en œuvre au travers d'un nouveau plan baptisé "France Relance", véritable feuille de route pour la refondation économique, sociale et écologique du pays.

Le projet des passes à poissons de Rhinau et Marckolsheim a été inscrit dans le plan « France relance ».

**Il est donc demandé aujourd'hui à EDF de proposer des ouvrages « classiques » de montaison sur ces deux aménagements.**

### 1.2 OBJECTIFS DE LA NOTE

La présente note a pour objectif la reprise des éléments de dimensionnement issus des réflexions menées en 2017-2018 sur la création d'un ouvrage de capture de poissons au droit de l'usine de l'aménagement hydro-électrique de Rhinau.

Elle conserve le principe d'une collecte des poissons sur les deux rives et reprend les éléments de conception des entrées piscicoles précédemment établis.

Elle complète par l'intégration d'un groupe de turbinage du débit d'attrait complémentaire en rive droite, en lieu et place du pompage initialement pressenti. Ce changement implique nécessairement la mise en place d'une prise d'eau dans le canal d'amenée de l'usine principale.

Elle intègre le dimensionnement d'une station de capture pour la récupération temporaire de poissons à des fins scientifiques (observations, campagnes de suivi).

Enfin, elle précise la jonction vers l'amont de l'usine au moyen d'un chenal de transfert et d'une passe à bassins.

### 1.3 PRINCIPE DE LA SOLUTION

Les poissons migrateurs en montaison, après avoir franchi les aménagements d'Iffezheim, Gamsheim, Strasbourg et Gerstheim, se présenteront en aval de Rhinau, préférentiellement au pied de la centrale, dont l'attrait par rapport au tronçon court-circuité est prépondérant la majeure partie de l'année.

Un ouvrage d'attrait des poissons sera implanté en aval de la centrale sur chacune des rives du canal de restitution ; il sera conçu selon les mêmes principes que la partie aval des autres passes à poissons du Rhin : les poissons seront attirés dans le dispositif par un "débit d'attrait", délivré par plusieurs "entrées", qui doivent être judicieusement placées pour que les poissons puissent percevoir leur jet au milieu des écoulements du canal de restitution de l'usine.

Les poissons seront élevés à la hauteur du terrain naturel des berges par des passes à bassins (une en rive droite, une en rive gauche).

Après un transfert vers la rive droite pour les poissons issus de la rive gauche, les poissons seront dénombrés, séparément pour chaque rive, au niveau d'une station de comptage vidéo.

En amont de cette station, les poissons seront réunis et poursuivront leur migration dans un chenal de transfert muni d'une station de capture scientifique puis dans une nouvelle passe à bassins afin de regagner le canal d'amenée de l'usine à environ 175 m en amont de cette dernière.

## 2. DONNEES D'ENTREE

### 2.1 FONCTIONNEMENT DE L'AMENAGEMENT

L'aménagement de Rhinau, mis en service en 1963, se situe dans le département du Bas Rhin (67).

C'est le 6<sup>ème</sup> aménagement de la chaîne du Rhin, et le second réalisé en feston.

L'aménagement comprend un barrage situé au PK 249,300, une écluse et usine situées au PK 256,500. L'aménagement s'étend jusqu'au PK 259,700.

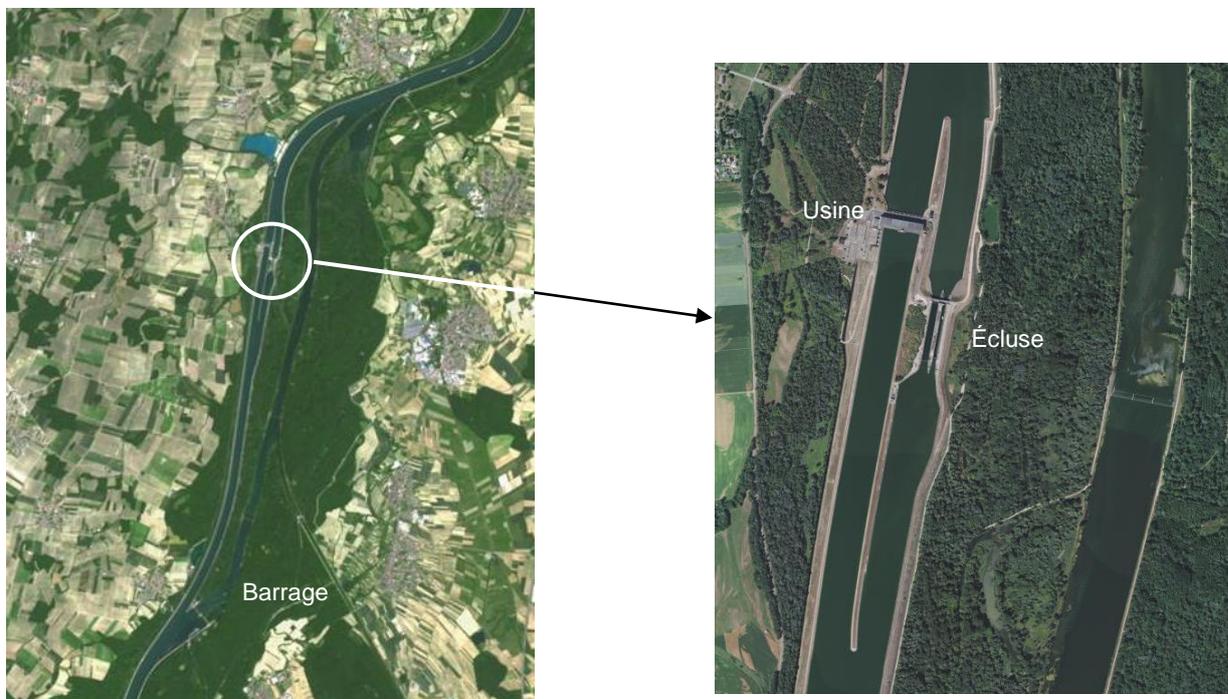


Figure 1 - Vues aériennes de l'aménagement de Rhinau

La cote de retenue normale est à 173,30 NN (NB : toutes les cotes mentionnées dans ce document sont dans le système de nivellement Normal Null (NN)).

L'usine de Rhinau comporte 4 groupes de type Kaplan fonctionnant sous une hauteur de chute de l'ordre de 13 m.

L'usine de Rhinau peut turbiner aux alentours de 1400 m<sup>3</sup>/s.

Le débit réservé au barrage de Rhinau est de 15 m<sup>3</sup>/s.



Figure 2 - Vue aérienne de l'usine de Rhinau

Le principe de fonctionnement de l'aménagement de Rhinau est le suivant :

- Pour un débit du Rhin inférieur à 1415 m<sup>3</sup>/s, le canal d'amenée entonne le débit du Rhin diminué de 15 m<sup>3</sup>/s. La totalité du débit du canal est turbiné à l'usine.
- En cas d'arrêt des groupes (momentané, ou programmé pour entretien), et si le débit dans le canal d'amenée est inférieur à 1400 m<sup>3</sup>/s, le débit est restitué à l'aval par 2 déchargeurs situés en position centrale.
- Pour un débit du Rhin supérieur à 1 415 m<sup>3</sup>/s (environ 80 jours/an) : le canal d'amenée entonne 1400 m<sup>3</sup>/s et le reste du débit est déversé dans le tronçon court-circuité par ouverture progressive des vannes du barrage de Rhinau.

Précisons que l'usine réalise des éclusées plus ou moins fréquentes en fonction de leur nature. Ce mode de fonctionnement peut conduire aux valeurs de niveaux suivantes :

- Niveaux amont
 

Min	172,50 NN
Max	173,50 NN
- Niveaux aval
 

Min	159,40 NN
Max	160,80 NN

Ces extrema représentant des conditions particulières, le fonctionnement de l'usine sera analysé à partir des chroniques d'enregistrement de niveaux afin de définir des intervalles statistiquement pertinents vis-à-vis de la migration piscicole. Une analyse de la sensibilité de l'ouvrage de migration aux conditions extrêmes sera réalisée en complément en ANNEXE 5.

## 2.2 HYDROLOGIE

L'hydrologie naturelle du Rhin à l'entrée en France est influencée par des aménagements hydrauliques sur son bassin à l'amont de Bâle.

Le fleuve conserve toutefois un régime de type glacio-pluvio-nival avec de hautes eaux en juin et de basses eaux en janvier

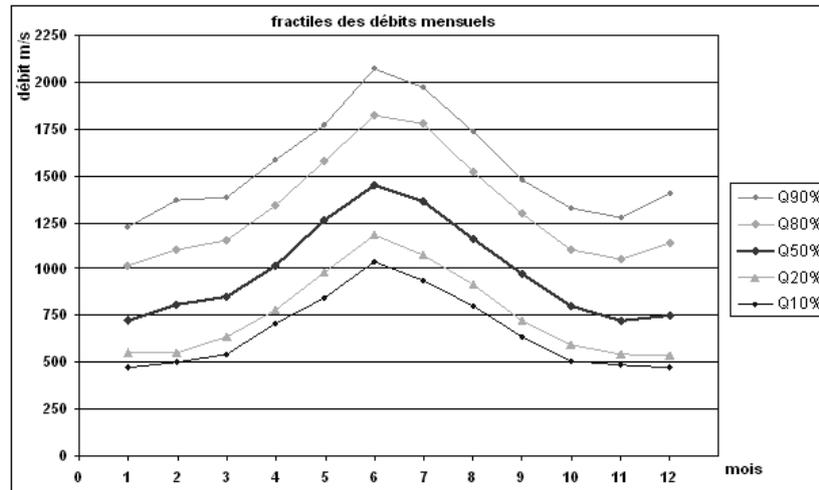


Figure 3 - Débits moyens mensuels du Rhin à Bâle (station LHG 2220, bassin versant contrôlé de 35 929 km<sup>2</sup>)

Dans la partie franco-allemande, les centrales sont exploitées au fil de l'eau, avec possibilité d'éclusées lorsque les débits sont compris entre 300 et 1300 m<sup>3</sup>/s à Bâle.

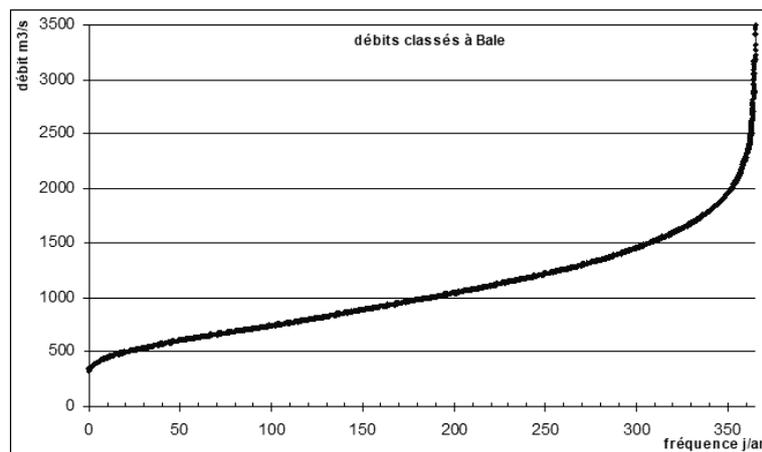


Figure 4 - Débits classés à Bâle (station LHG 2220)

Les éclusées consistent à turbiner moins que les entrants à Bâle pendant la nuit, et plus le matin ou en soirée.

Elles sont réalisées avec la contrainte de maintenir à l’aval de la chaîne française, le même débit qu’à Bâle.



Aménagements en ligne

Aménagements en feston

Aménagements en dérivation

Pour ce faire, les retenues doivent jouer des rôles antagonistes : à l'amont, elles sont dites émettrices car elles génèrent l'éclusee et en aval, elles sont dites réceptrices car elles absorbent l'éclusee.

Entre les deux, les biefs transmetteurs délivrent le débit reçu sans variation de niveau associée à l'éclusee.

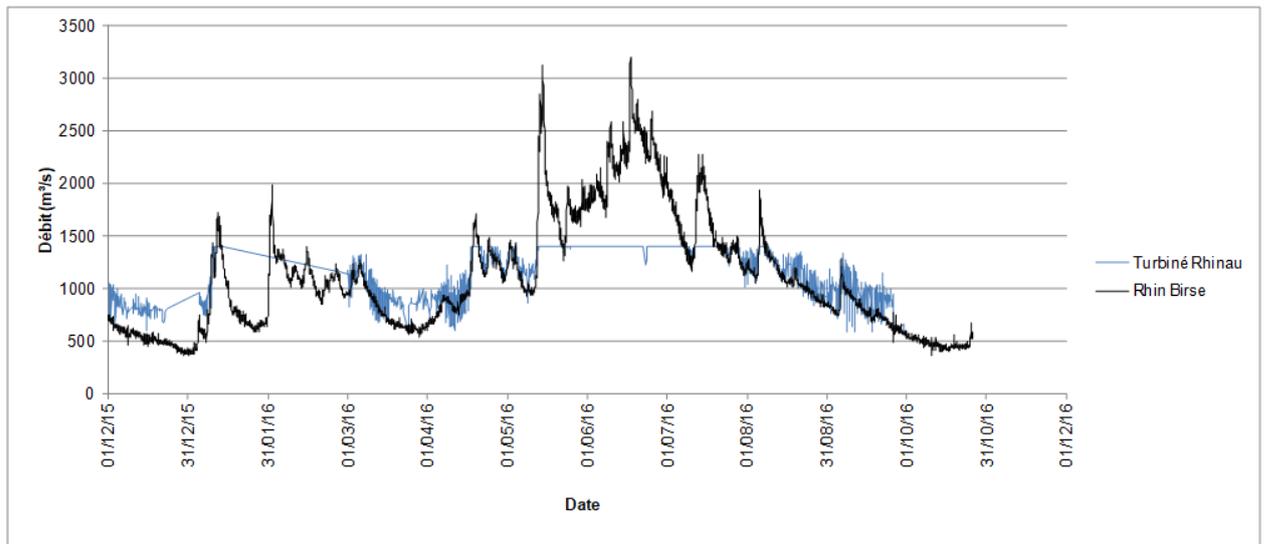


Figure 5 - Comparaison débit à Bâle – débit turbiné à Rhinau

**Le fonctionnement en éclusees de l'usine de Rhinau augmente la fréquence des niveaux aval les plus élevés et des niveaux amont les plus bas et doit donc conduire à ne pas considérer ces derniers comme étant exceptionnels.**

## 2.3 ESPECES MIGRATRICES A CONSIDERER

### 2.3.1 Analyse des passages à Gamsheim

Le saumon est l'espèce cible emblématique du Rhin, mais d'autres "grands migrateurs" (ou espèces amphihalines) pourront également accéder au futur ouvrage de Rhinau.

Année	Iffezheim Saumon	Iffezheim Truite de mer	Gamsheim Saumon	Gamsheim Truite de mer
2006	47	53	18	31
2007	62	115	27	89
2008	86	101	70	78
2009	52	66	46	91
2010	18	40	26	89
2011	50	68	47	71
2012	22	20	53	32
2013	4	19	23	45
2014	87	191	60	145
2015	228	69	152	65
<b>TOTAL</b>	<b>656</b>	<b>742</b>	<b>522</b>	<b>736</b>

Les 5 principales espèces en termes d'effectifs qui franchissent la passe de Gamsheim sont par ordre d'importance (chiffres basés sur les données de passage 2006 à 2013) :

- l'Anguille (141 308 individus depuis la mise en service du comptage – mai 2006)
- la Brème (58 153)
- le Barbeau (37 793)
- le Hotu (18 901)
- l'Aspe (12 409)

Les données des comptages réalisés à Gamsheim et Iffezheim (transmises par l'Association Saumon-Rhin), ainsi que les expérimentations menées en RFID confirment la présence de migrations saisonnières de poissons holobiotiques sur le Rhin.

Il est avéré que ces mouvements interviennent principalement lors de deux périodes : le printemps et l'automne ; l'échelle spatiale de ces mouvements est inconnue.

Les espèces de cyprinidés rhéophiles caractéristiques des eaux tempérées, comme le barbeau, le hotu ou l'aspe, montrent un comportement de migration printanière car ils ont besoin de zones de granulométrie favorable pour se reproduire.

Pour l'anguille, il est difficile de savoir à quel niveau du Rhin les individus vont stopper leur migration de colonisation, et entamer leur phase de croissance sédentaire.

### 2.3.2 Espèces cibles retenues

Compte tenu des données de comptage, les espèces cibles retenues sont les grands migrateurs amphihalins ainsi que les principales espèces holobiotiques du Rhin à savoir :

**le saumon atlantique, la truite de mer, l'aloise, la lamproie marine, l'anguille, la brème, le barbeau fluviatile, le hotu, et l'aspe.**



**Saumon atlantique**



**Truite de mer**



**Grande aloise**



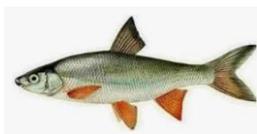
**Lamproie marine**



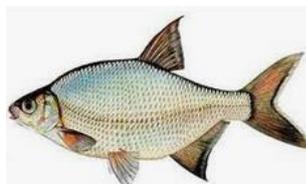
**Anguille européenne**



**Barbeau fluviatile**



**Hotu**



**Brème**



**Aspe**

**Figure 6 – Espèces cibles**

## 2.4 GAMME DE FONCTIONNEMENT

Par analogie avec les autres ouvrages du Rhin, on a retenu une gamme de fonctionnement des dispositifs, entre l'étiage et un débit de l'ordre de 2 fois le module.

**La gamme 500 m<sup>3</sup>/s - 2000 m<sup>3</sup>/s couvre la plupart des situations dans les périodes de migration principales des espèces concernées.**

L'intensité migratoire est maximale entre mars et juillet mais la grande diversité d'espèces sur le Rhin implique des migrations possibles toute l'année hormis les périodes les plus froides (janvier/février).

Les débits 500 et 2000 m<sup>3</sup>/s correspondent aux centiles 5 et 95 de la répartition annuelle des débits du Rhin à Bâle (cf. Figure 4).

## 2.5 NIVEAUX D'EAU

L'aménagement est équipé de capteurs d'exploitation indiquant les niveaux d'eau 50 m en amont de l'usine et 550 m en aval.

Afin de compléter ces données, 5 sondes de niveau ont été installées fin 2015 : 4 sondes en aval immédiat de l'usine à proximité des entrées potentielles du nouvel ouvrage de montaison, une 5ème 100 m en amont de l'usine (zone plus proche du futur ouvrage de migration).

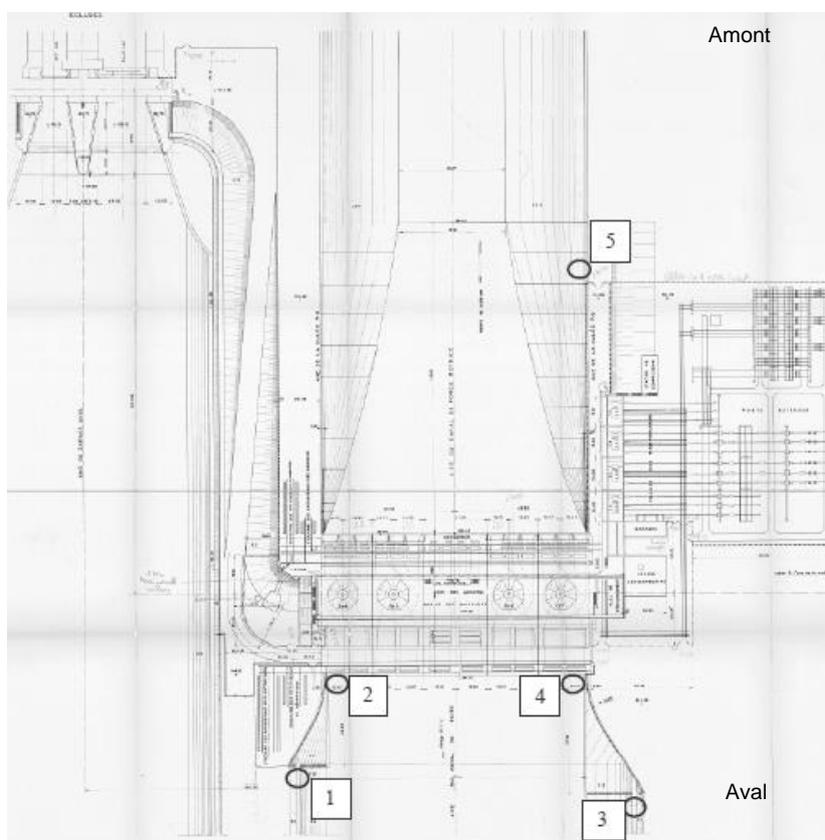


Figure 7 – Localisation des sondes de mesure de niveau

### 2.5.1 En amont de l'usine

Les relevés de cote en amont de l'usine réalisés entre décembre 2015 et octobre 2016, montrent que :

- le niveau varie fréquemment ;
- la sonde n°5 enregistre des variations de niveau plus importantes que celles enregistrées par le capteur situé plus en aval ;
- au niveau de la sonde n°5, 1,3% des niveaux sont inférieurs à 172,7 NN et 3,5% dépassent 173,3 NN. La médiane est à 173,08 NN.

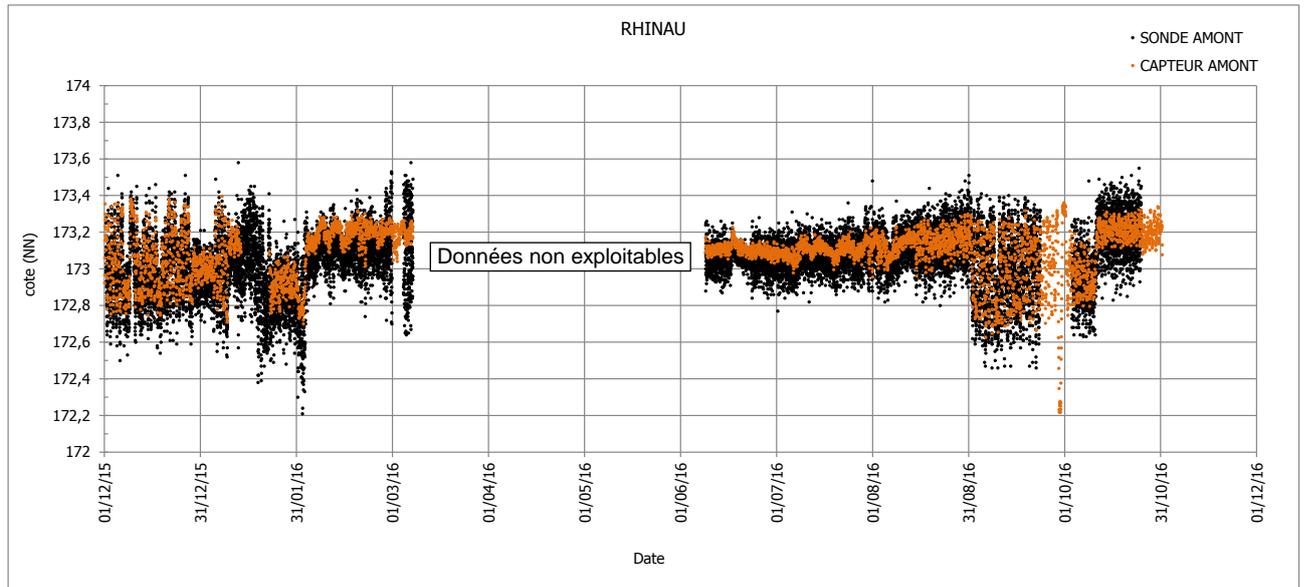


Figure 8 - Enregistrements sonde (100 m en amont usine) et capteur (50 m en amont usine) entre décembre 2015 et octobre 2016

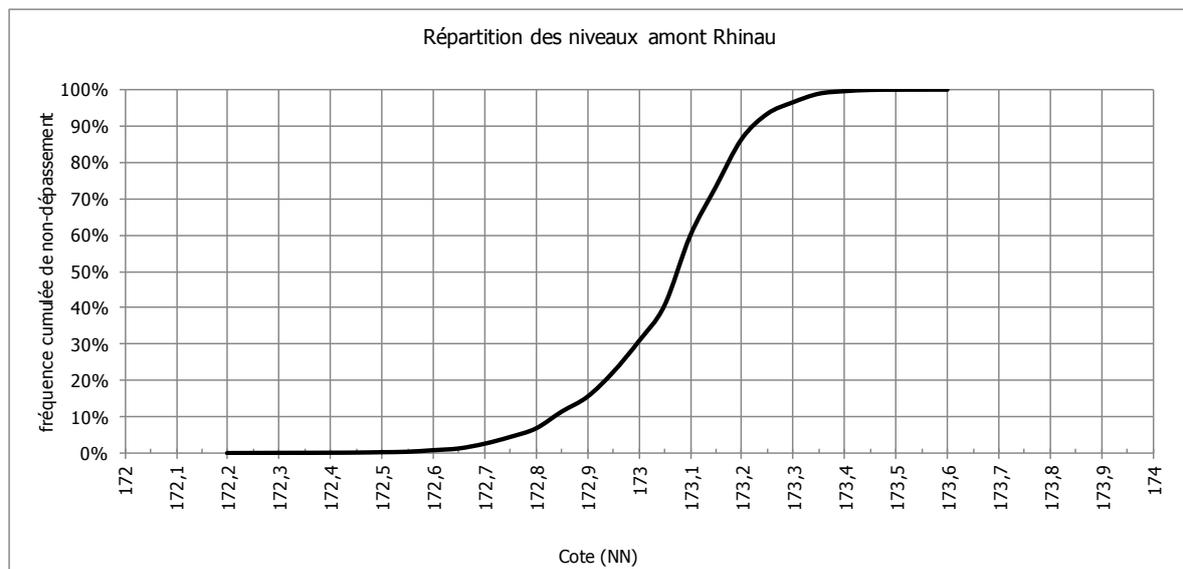


Figure 9 - Répartition des niveaux mesurés par la sonde 100 m en amont de l'usine de Rhinau

**Nous retenons 172,7 NN – 173,3 NN comme gamme de variation du niveau amont pour le dimensionnement des ouvrages de montaisons à l'exception des prises d'eau.**

Nous vérifions par ailleurs que le niveau minimum retenu correspond au niveau bas de la retenue (172,80 NN) diminué des pertes de charge dans le canal d'amenée correspondant au débit maximum alors turbinable (environ 10 cm pour 1000 m<sup>3</sup>/s).

La vitesse d'évolution du niveau dans le canal d'amenée de la centrale est la plupart du temps (intervalle 5%-95%) inférieur à 25 cm/15 mn.

**Afin d'assoir le dimensionnement des deux prises d'eau (prise d'eau du turbinage du débit d'attrait et celle dite sortie piscicole), avec l'outil de modélisation numérique 3D VOF<sup>1</sup> les niveaux de 172.80 NN et de 172.50 NN sont retenus.**

### 2.5.2 En aval de l'usine

Les enregistrements de niveaux en aval de l'usine fournissent les résultats suivants (les quantiles supérieurs de la sonde 4 sont peu élevés en raison d'une période d'acquisition plus réduite) :

Quantiles	Sonde 1	Sonde 2	Sonde 3	Sonde 4
1%	159.71	159.71	159.7	159.75
5%	159.81	159.82	159.81	159.81
10%	159.88	159.89	159.88	159.86
25%	159.99	160	159.99	159.94
50%	160.12	160.12	160.12	160.04
75%	160.31	160.27	160.31	160.2
90%	160.55	160.47	160.56	160.34
95%	160.77	160.67	160.8	160.4
99%	160.97	160.89	161.03	160.51

En rive droite, les niveaux mesurés à la restitution de l'usine (sonde n°2) sont soit équivalents soit légèrement inférieurs aux niveaux mesurés 40 m en aval de l'usine (sonde n°1). L'écart s'amplifie lorsque le débit turbiné augmente mais ne dépasse qu'exceptionnellement 15 cm.

La même tendance s'observe en rive gauche.

Les sondes 1 et 3 fournissent par ailleurs des mesures équivalentes même si la sonde 3 a tendance à indiquer un niveau légèrement supérieur pour les débits les plus élevés turbinés par l'usine. De plus, pour ces débits élevés, la dispersion du niveau aval usine augmente, notamment en raison de l'effet des éclusées.

**Nous retiendrons donc pour l'ouvrage de migration :**

- **Des mesures de niveau aux emplacements des 4 sondes aval ;**
- **Un besoin d'asservissement des seuils des entrées piscicoles au niveau aval ;**
- **Par rive, l'asservissement se fera sur une valeur de niveau aval qui sera la moyenne des deux niveaux fournis par les deux sondes de la rive considérée ;**
- **Une gamme de variation de niveau aval comprise entre 159,80 NN et 160,80 NN.**

La vitesse d'évolution du niveau dans le canal de restitution de la centrale est la plupart du temps (intervalle 5%-95%) inférieur à 18 cm/15 mn.

<sup>1</sup> VOF = volume of fluid = méthode volume fini

### 3. CONCEPTION GENERALE

#### 3.1 PRINCIPES DE BASE

La méthodologie utilisée pour attirer les poissons vers un ouvrage de migration se fonde sur le fait que les poissons, dans leur migration de montaison, nagent contre le courant et s'orientent par rapport aux écoulements dominants. De ce point de vue, **la restitution de l'usine est à privilégier.**

Localement, le positionnement des entrées piscicoles de l'ouvrage de montaison doit se faire en recherchant, dans l'environnement très agité de la sortie des turbines, des lieux où l'on puisse générer un jet suffisamment stable et étendu pour être attractif donc perceptible par les poissons.

Une autre contrainte sur les rivières de l'envergure du Rhin, est de pouvoir collecter les poissons sur toute la largeur du cours d'eau (canaux de fuite de plus de 100 m de large). Cela impose, sauf cas particulier, **d'équiper les deux rives en entrées piscicoles**, car un jet d'entrée ne sera pas perçu sur l'autre rive.

De plus, sur une même rive, le retour d'expérience à l'échelle internationale et les suivis menés par RFID (téléométrie dite « passive ») sur les dispositifs de franchissement du Rhin montrent qu'il est indispensable de munir les ouvrages de **plusieurs entrées**. La plupart des espèces, et en particulier les grands salmonidés migrateurs, ont tendance à pénétrer dans les dispositifs par les entrées situées au droit des turbines, au plus près du point de blocage amont (Travade et al. 2013 ; Tétard et al. 2014 ; Tétard et al. 2020, ICEO, 2020). Par ailleurs, les différentes configurations de turbinage des centrales montrent une forte hétérogénéité d'écoulement dans le canal de fuite avec de fortes turbulences et vitesses d'écoulement en sortie des groupes lors des modélisations physiques et numériques (§ 3.3 et 3.4). Ces éléments plaident pour l'utilisation de plusieurs entrées avec un fonctionnement simultané ou alternatif en fonction des configurations rencontrées dans le canal de fuite.

Il est également indispensable de soutenir l'attractivité des entrées au moyen de **débits d'attrait complémentaires**.

Une fois "collectés", des ouvrages de liaison guident les poissons, éventuellement en franchissant une partie du dénivelé, vers un ouvrage commun (généralement là où se fait l'injection du débit d'attrait), à partir duquel se développe une passe à bassins successifs ou un ascenseur à poissons. Le retour d'expérience apporté par la bibliographie et les suivis biologiques menés sur le Rhin indique que la zone d'injection du débit d'attrait, difficile à négocier pour les poissons, nécessite une attention particulière pour son dimensionnement et son entretien (Travade et al. 2013 ; Tétard et al. 2014 ; Tétard et al. 2020, ICEO, 2020).

L'expérience de la construction des passes à poissons d'Iffezheim et Gambenheim, puis les observations et suivis menés sur ces aménagements, ont confirmé que les grands salmonidés migrateurs tendaient à s'approcher au plus près des usines (jusqu'aux aspirateurs) et que les entrées les plus à l'amont nettement plus utilisées par les poissons. Les poissons holobiotiques ont montré également une préférence pour les entrées situées les plus en amont mais en se répartissant davantage entre les entrées situées en berge et les entrées proches des turbines.

Les quatre centrales actuellement équipées ou à l'étude (d'Iffezheim à Gerstheim), présentent toutes une configuration avec des turbines de type bulbe, dont l'aspirateur s'étend de plusieurs mètres en aval de la centrale. La présence d'une dalle submergée continue au-dessus des

aspirateurs ménage un espace plus calme, où un jet peut traverser la totalité du canal de fuite et collecter les poissons à partir d'un seul côté de l'usine. Ce concept a prouvé son efficacité sur les aménagements d'Iffezheim et Gamsheim, et a été étendu pour les projets de Strasbourg et Gerstheim.

Pour ces quatre aménagements, le débit global d'alimentation est de 16 m<sup>3</sup>/s au maximum (Iffezheim uniquement depuis l'ajout d'un cinquième groupe, les autres dispositifs étant alimentés par 15 m<sup>3</sup>/s au maximum), représentant entre 1 et 1,4% du débit maximum turbiné.

Par rapport aux autres centrales situées en aval, l'aménagement de Rhinau est de conception différente. Il est équipé de quatre turbines Kaplan, dont les pertuis sont séparés. De plus, **les déchargeurs de l'usine sont disposés en partie centrale** (entre les turbines 2 et 3) au lieu d'être en berge. La dalle sur les aspirateurs est plus enfoncée et surtout l'espace sur **la dalle est segmenté en une série d'alvéoles** empêchant l'établissement d'un jet transversal sur la largeur de l'usine à partir d'une entrée unique sur la berge.

La zone d'écoulement continu entre rive droite et rive gauche est reportée en aval de la restitution des turbines.

Cette configuration a nécessité de repenser la position des entrées de la passe.

### 3.2 ALIMENTATION EN DEBIT

Le débit dans un ouvrage de migration "doit être à l'échelle des débits du cours d'eau en période de migration".

On considère généralement que cela nécessite de le porter à 1 à 5% des débits rentrant en compétition.

Cette proportion varie suivant la taille du cours d'eau, les contraintes du site, et selon que l'entrée du dispositif est plus ou moins bien placée.

Il faut considérer par ailleurs qu'il y a une taille minimale et une forme de jet qui lui assurent une meilleure persistance au sein de l'écoulement aval et donc une bonne perceptibilité par les poissons (par exemple un jet carré de 1 x 1 m).

Les critères utilisés aux USA sont de 3% du débit maximum et de 10% du débit d'étiage.

A titre d'exemple, on a reporté dans le tableau ci-dessous les débits des ouvrages EDF comportant plusieurs entrées :

Site	Module	Qmax turbiné	Débit total entrées	1 ou 2 rives de la centrale	% (Qmax – module)
Carbonne	110	140	3	2	2.1% - 2.7%
Châtelleraut	110	100	3	2	3% - 2.7%
Golfech	400	540	8	1	1.5% - 2%
Mauzac	280	220	5	1	2.3% - 1.8%
Gamsheim	1100	1400	15	1	1.1% – 1.4%
Iffezheim	1100	1500	16	1	1.1% - 1.4%
Strasbourg	1100	1500	15	1	1% - 1.4%
Gerstheim	1100	1500	15	1	1% - 1.4%

NB : le pourcentage faible des centrales aval du Rhin est lié à la configuration particulièrement favorable de la dalle aspirateur, sur laquelle le jet provenant de l'entrée aval turbines peut se développer sur presque toute la largeur.

L'ordre de grandeur du débit total proposé pour Rhinau est de 20 à 30 m<sup>3</sup>/s (1,8 à 2,7% du module, 1,4 à 2,1% du débit maximal turbinable).

Nous verrons plus loin que compte tenu de la largeur du site, des écoulements turbulents et de l'absence de dalle aspirateur, du nombre d'entrées piscicoles à mettre en œuvre, et du dimensionnement de ces entrées, **la valeur de 30 m<sup>3</sup>/s est la plus adaptée.**

Pour amener ce débit, deux solutions sont envisageables :

- le turbinage de ce débit, prélevé en amont, au travers d'une microcentrale (comme à Iffezheim, Gamsheim et Strasbourg), sous une hauteur de chute d'environ 13 m ;
- le pompage de ce débit, prélevé dans le bief aval, sur une hauteur de relevage d'environ 1 m (comme à Gerstheim).

La faisabilité de l'implantation de ces solutions a été réalisée.

Pour le turbinage, seule la rive droite est envisageable, le positionnement en rive gauche étant trop contraint, d'une part par les ouvrages d'accès à la centrale et, d'autre part, par la présence du poste de transformation.

La solution de pompage est a priori réalisable sur les deux berges ; soit en aval des entrées de la passe (pour ne pas perturber le comportement des poissons à proximité de ces dernières), soit, pour la rive droite, de l'autre côté du talus qui sépare le canal de fuite de la partie navigation (impact sur la navigation à examiner).

Une solution mixte (pompage en rive gauche, turbinage en rive droite) est également possible.

### 3.3 ÉTUDE PRELIMINAIRE DES ECOULEMENTS EN AVAL

#### 3.3.1 Observations des écoulements

Des observations des écoulements ont été effectuées à plusieurs reprises et dans des conditions de débit différentes, permettant en particulier de tester plusieurs configurations de groupes en fonctionnement (symétrique, en rive gauche ou droite, équirépartie ou non).

Des observations ont été réalisées notamment :

- le 11 mars 2014, avec un débit turbiné de 750 m<sup>3</sup>/s et un niveau aval de 160,12 NN ;
- le 12 juin 2014, avec un débit turbiné de 1 125 m<sup>3</sup>/s et un niveau aval de 160,29 NN.

Dans un premier temps, une observation visuelle a permis d'estimer la direction et la valeur de la vitesse en surface. Dans un second temps, la caractérisation des écoulements a été effectuée en observant la dispersion, le long des bajoyers, d'une masse d'eau colorée à la fluorescéine.

Le flux sort de l'espace confiné des turbines en formant des jets à forte vitesse. Ces jets s'étalent en diffusant dans les aspirateurs puis dans le canal de fuite, tout en conservant une certaine composante verticale.

Au plus près de l'usine, l'écoulement est dirigé vers l'amont du fait de l'aspiration en profondeur par le jet sortant des turbines. Le long du bajoyer, on rencontre donc d'amont en aval : des vitesses vers l'amont, puis une zone indécise, puis un écoulement vers l'aval ; la zone d'inversion est caractérisée par des écoulements descendant le long de la paroi et donc peu propices à l'implantation d'une entrée. Dans un plan vertical, l'écoulement vers l'amont en surface se prolonge par un flux descendant et une recirculation à axe horizontal devant la dalle

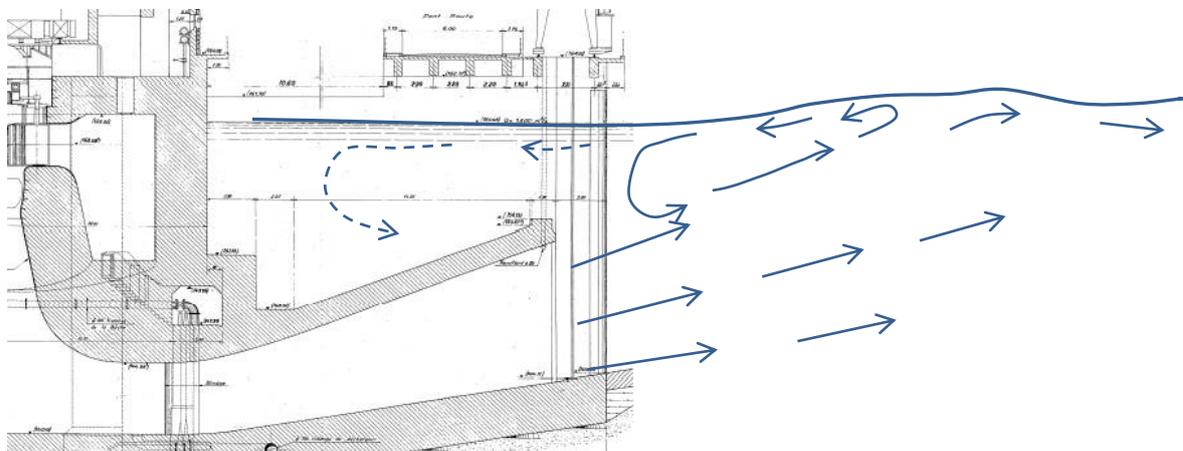


Figure 10 - Illustration en coupe de l'écoulement en sortie d'aspirateur

Ces premières données ont été complétées par d'autres observations réalisées dans le courant de l'été 2015.

Pour quatre configurations de turbinages différentes, les macrostructures d'écoulement ont été décrites sur le terrain.



Figure 11 - Vue zénithale de la zone d'observation des macro-structures d'écoulement

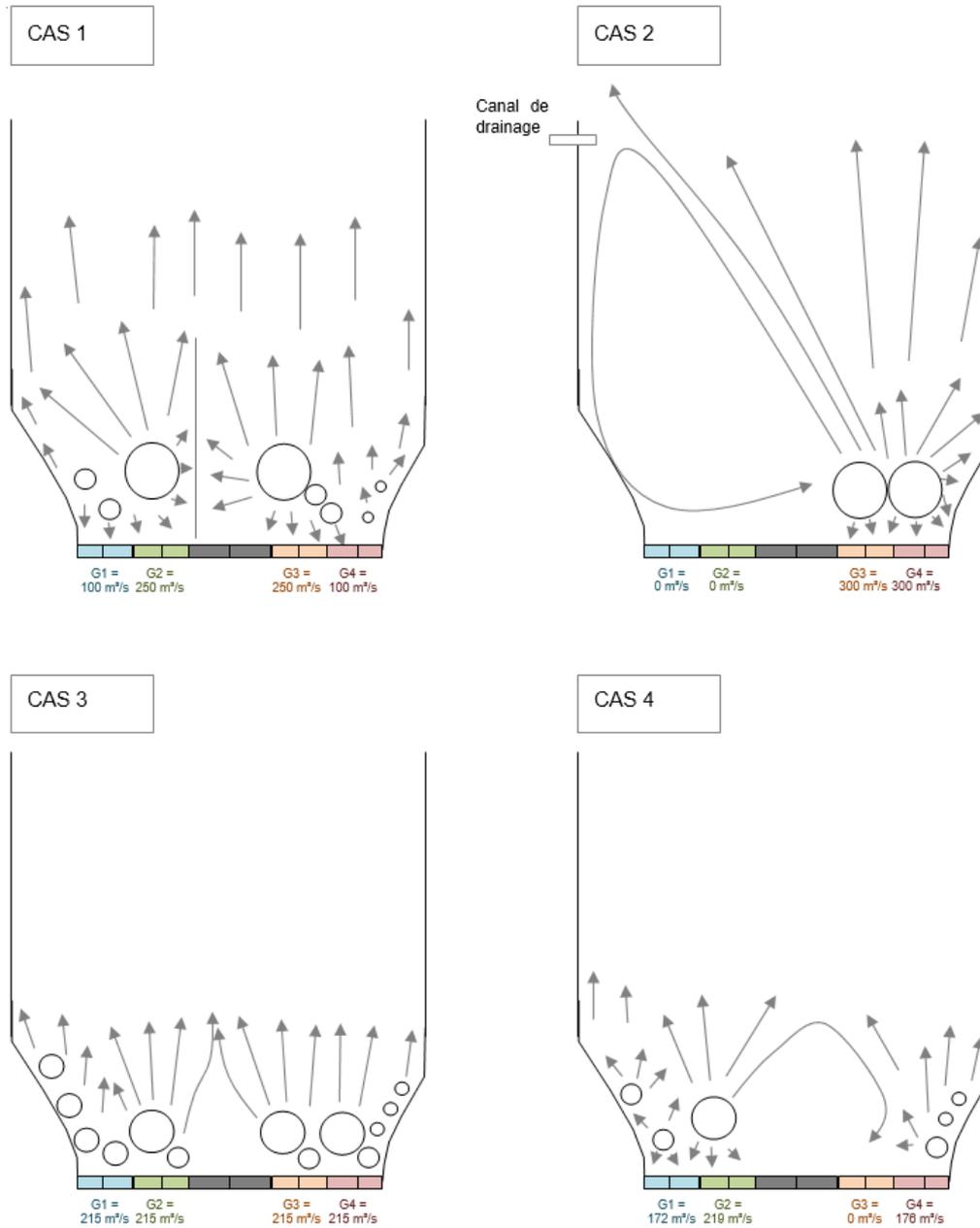


Figure 12 – Description des écoulements pour différentes configurations de turbinage été 2015

En vue de dessus, les écoulements sont très dépendants du nombre et de la position des groupes en fonctionnement.

Si le débit est équiréparti entre les 4 groupes, on observe une zone calme au centre, en aval des déchargeurs, une zone de contre-courant allant vers l'amont, en rive droite, et des écoulements turbulents contre la berge en rive gauche. La zone en amont de la route est très calme. Des zones calmes existent aussi en aval des piles de plus grande largeur (pour le débit de 750 m<sup>3</sup>/s).

Si les turbines de rive ne fonctionnent pas, on observe de grandes zones de recirculation en berge.

Bien que la situation soit exceptionnelle, notons que l'ouverture d'un déchargeur à 350 m<sup>3</sup>/s crée un écoulement très turbulent et aéré jusqu'à 50 m en aval de la centrale au moins.

### 3.3.2 Modèle numérique Saturne – préqualification des entrées

Une simulation numérique des écoulements par le Code Saturne a ensuite été réalisée par EDF R&D (Leroy et al., 2018). La comparaison avec l'observation des macro-structures d'écoulement rencontrées pour différentes configurations de turbinage a permis de valider la simulation numérique. Les comparaisons des vitesses simulées avec les profils de vitesses mesurés par ADCP sur site valident également qualitativement le modèle (diffusion des jets).

**Ce modèle a ensuite permis de modéliser la propagation d'un jet perpendiculaire au canal de restitution afin d'évaluer sa portée et donc son attractivité potentielle pour les poissons. Pour une configuration de turbinage correspondant à la saturation de l'usine, la simulation montre que le jet, issu de la rive droite, est détourné par les recirculations et qu'il s'oriente rapidement vers le groupe 4. Sa portée est donc vraiment limitée et il ne peut assurer seul l'attractivité de l'ouvrage de migration.**

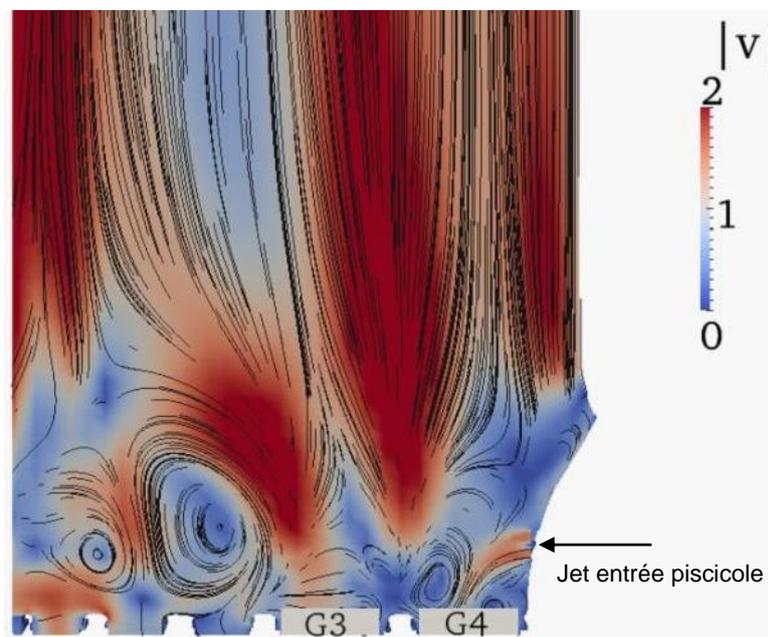


Figure 13 - Simulation numérique code Saturne du développement d'un jet de rive à l'aval immédiat des turbines (5 m<sup>3</sup>/s)

Les observations de l'été 2015 ont ensuite été complétées en juin 2016 par l'observation des écoulements en aval de l'usine lorsque cette dernière est saturée. Il apparaît alors clairement que des entrées de rive doivent être positionnées environ 60 m en aval de l'usine de façon à retrouver des vitesses en berge compatibles avec les vitesses de nage des poissons moins bons nageurs (notamment les holobiotiques).

Différentes configurations d'entrées de rive ont été envisagées (cf. schémas ci-après).

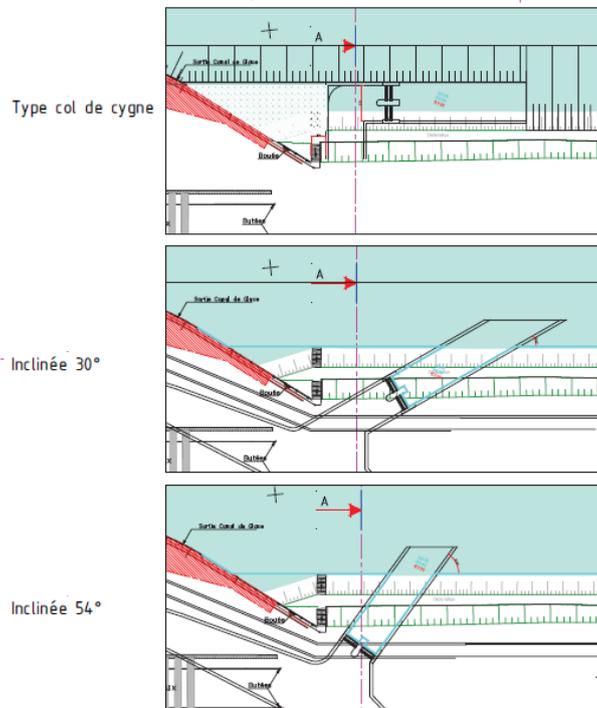


Figure 14 – Configurations d'entrées de rive envisageables

La simulation au moyen du code Saturne a permis de montrer que la dernière configuration (angle à 54°) était particulièrement défavorable car elle génère une large recirculation en berge à l'aval immédiat de l'entrée. Cette zone d'écoulement beaucoup plus lent peut s'avérer piégeuse pour les poissons qui risquent d'y stationner sans trouver l'entrée (cf. illustration ci-dessous). Nous éliminons donc cette configuration dès à présent.

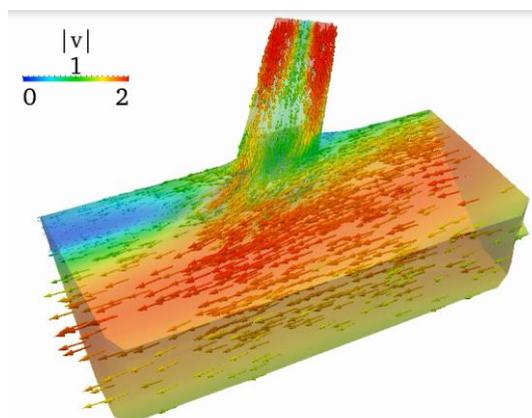


Figure 15 – simulation code Saturne de l'écoulement sur une configuration défavorable d'entrée de rive (54°) – 5 m<sup>3</sup>/s dans l'entrée piscicole et 1400 m<sup>3</sup>/s turbinés

### 3.4 CARACTERISATION DES ENTREES PISCICOLES

#### 3.4.1 Implantation théorique

Les observations des écoulements ont mis en évidence trois points essentiels :

- Une entrée située sur une rive ne peut pas attirer un poisson situé sur la rive opposée ;
- En amont de l'extrémité de la dalle-aspirateur, l'espace est segmenté par les déchargeurs de l'usine, les murs des alvéoles des groupes, elles-mêmes divisées en loges (2 loges par alvéole) ;
- La turbulence en sortie d'aspirateurs et les résultats des suivis biologiques imposent de positionner des entrées piscicoles en aval pour les poissons moins bons nageurs.

Les alvéoles sont par ailleurs le lieu d'écoulements perturbés car provoqués par les cellules turbulentes de surface (épanouissement pélagique du jet de sortie des aspirateurs).

Dans de telles conditions, il a paru intéressant, par analogie avec d'autres ouvrages existants (Carbonne sur la Garonne, Châtelleraut sur la Vienne, USA), d'envisager la création d'une galerie collectrice permettant de répartir plusieurs entrées piscicoles, au-dessus des groupes, sur toute la largeur du canal de restitution.



Figure 16 – Vue des aspirateurs, des alvéoles et des loges

Pour ce faire, une fermeture des alvéoles par un mur aval et un percement des cloisons des alvéoles et des loges sera nécessaire. Les entrées piscicoles seront percées dans le mur de fermeture. Une entrée sera soit en fonctionnement, soit fermée. En fonctionnement, elle délivrera 5 m<sup>3</sup>/s (valeur issue du compromis entre des critères de dimensionnement issus du programme life Aloses (la largeur des entrées 2,2 m, leur ennoisement aval 1,5 m, chute d'entrée maximale

30 cm) et le débit de montaison global par rive de 15 m<sup>3</sup>/s (environ 1% du débit turbiné maximum concurrent)).

En raison de l'impossibilité de franchir les déchargeurs centraux, une galerie collectrice mènera à la rive droite (au-dessus des groupes 3 et 4) et une autre à la rive gauche (au-dessus des groupes 2 et 1).

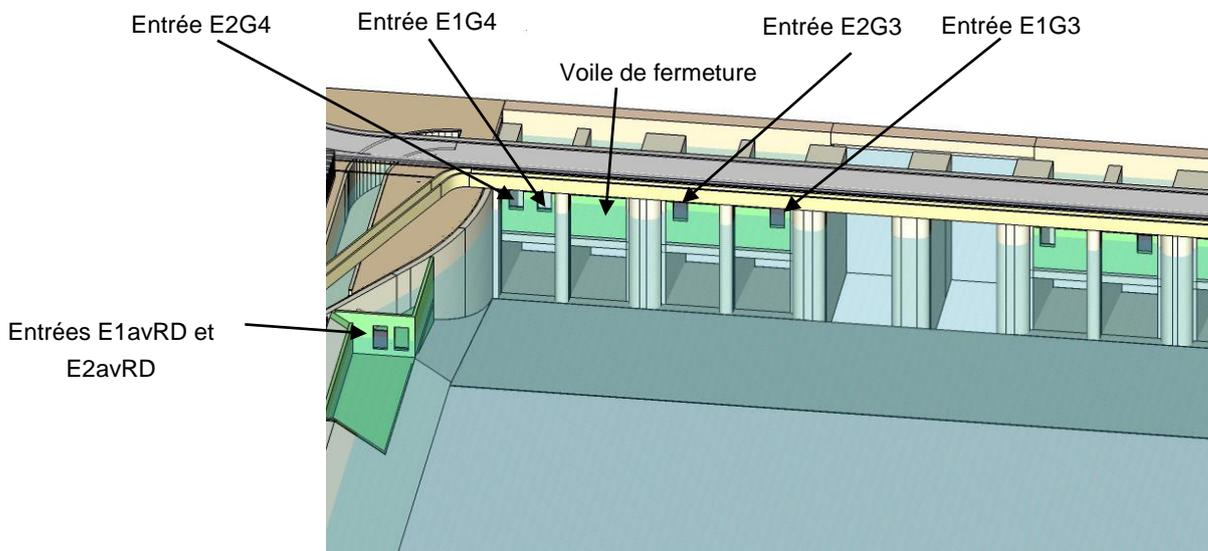
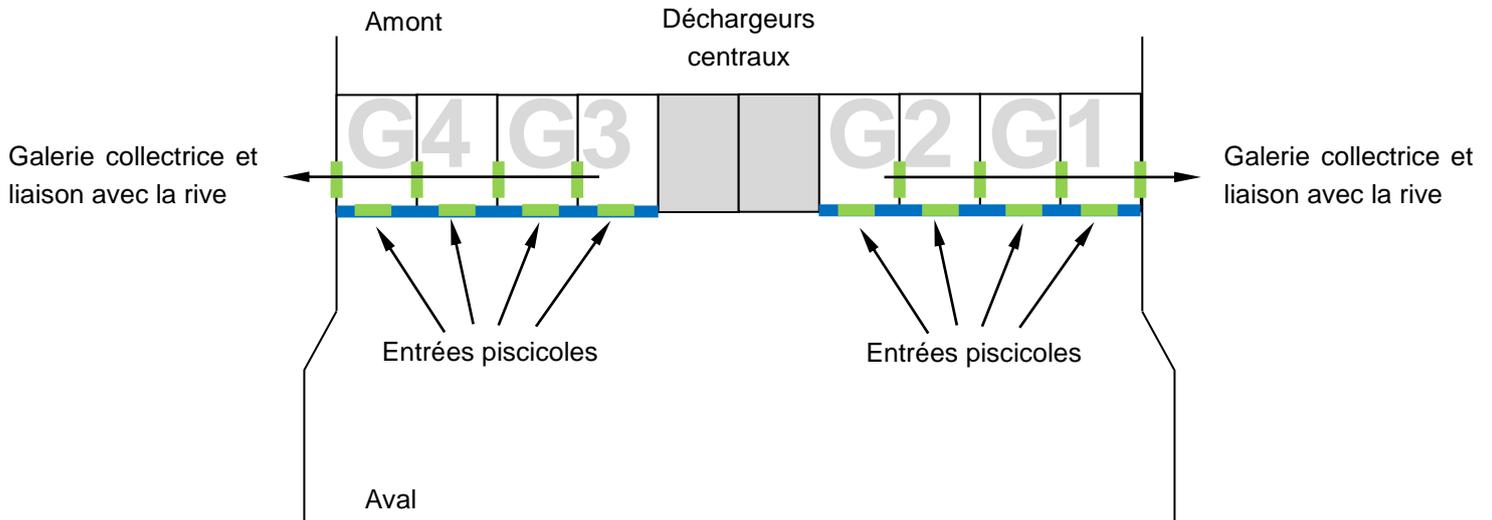


Figure 17 – Principe d'une galerie collectrice

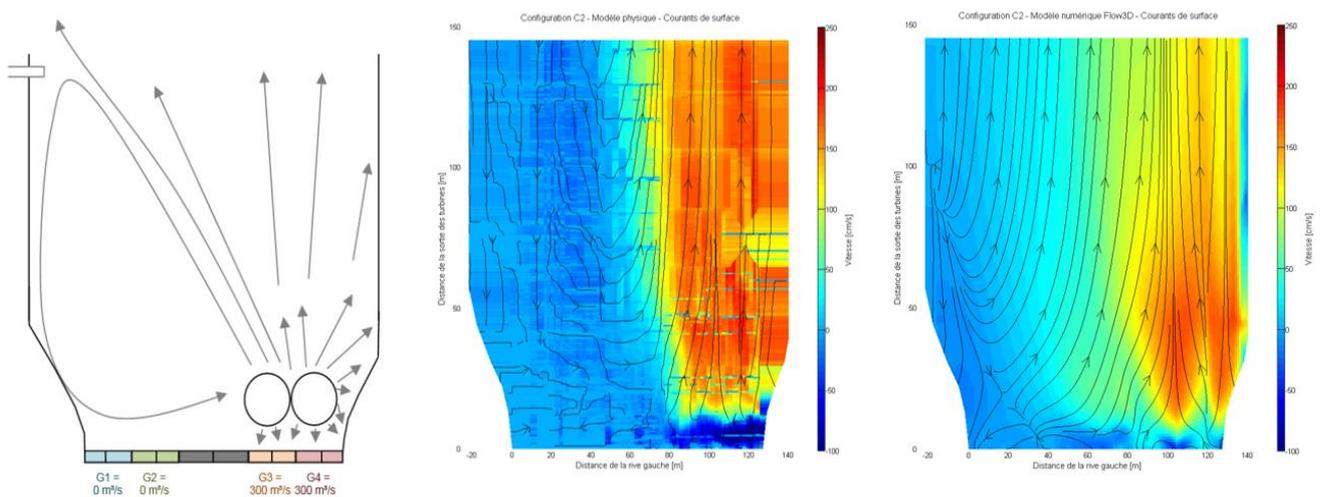
### 3.4.2 Etude sur modèles - EPFL

Afin d'affiner la configuration retenue pour les entrées piscicoles, des études complémentaires ont été menées, à l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), à la fois sur modèle physique et sur modèle numérique (Code FLOW-3D).

Les modèles ont été calés par la recherche des macrostructures d'écoulement observées et par la comparaison des vitesses modélisées et mesurées sur site à partir de profils verticaux de vitesse mesurés à l'ADCP<sup>2</sup>.



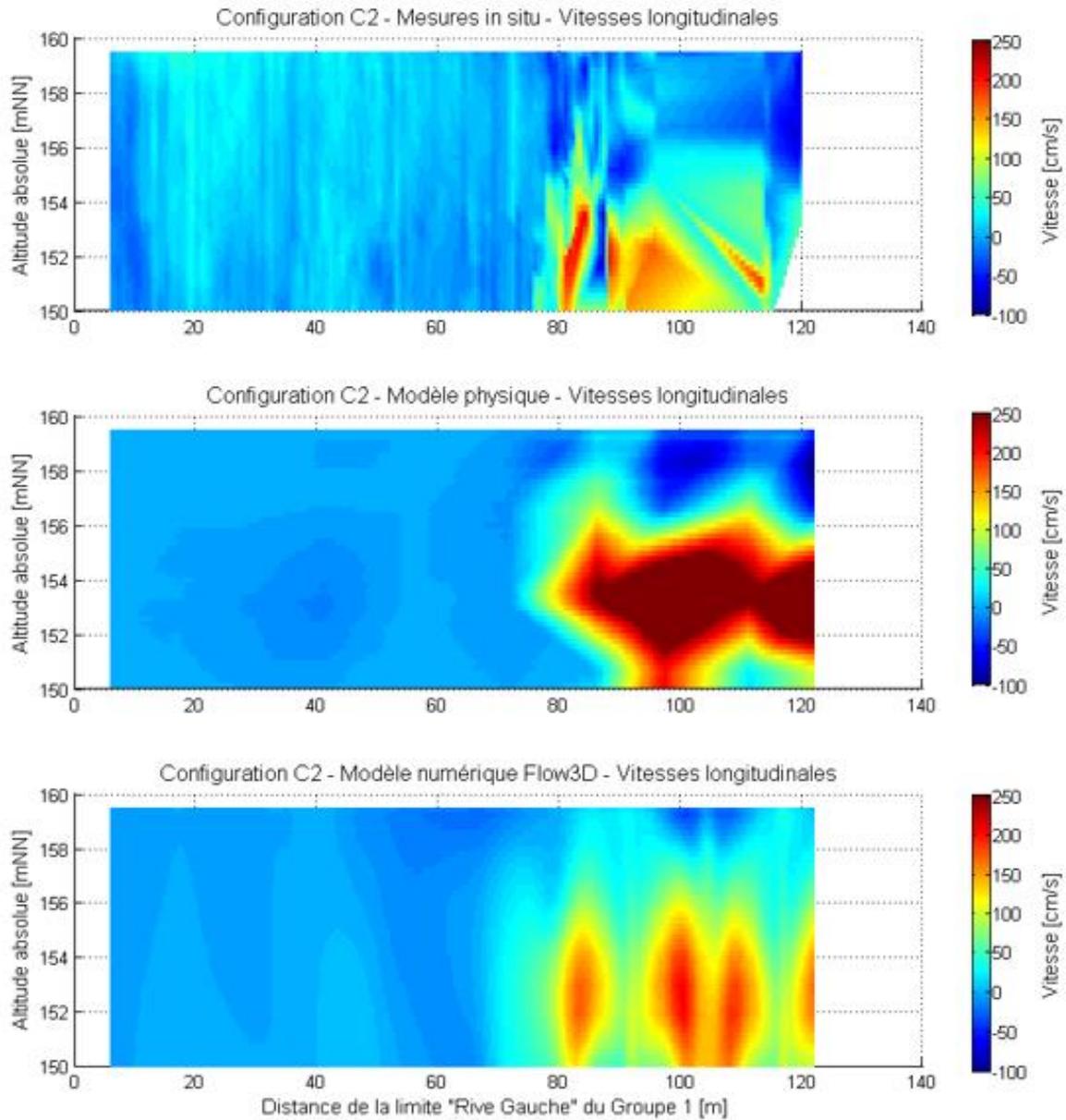
Figure 18 – Mesures de profils de vitesse en sortie des aspirateurs des turbines par mesure à l'ADCP



Configuration 2 – comparaison des courantologies de surface observée (gauche), mesurée sur modèle physique (centre) et simulée avec le modèle Flow3D (droite). Vitesses longitudinales ( $V_x$ ) de -100 (bleu) à 250cm/s (rouge).

Figure 19 – Macrostructures d'écoulement ; exemple de comparaison de résultats observés sur site et simulés à l'EPFL

<sup>2</sup> ADCP = Acoustic Doppler Current Profiler



*Profils à 3m de la sortie des aspirateurs. Haut : mesures in situ. Milieu : mesures modèle physique. Bas : simulation numérique, modèle Flow3D*

Figure 20 - Profils verticaux de vitesse ; exemple de comparaison de résultats observés sur site et simulés à l'EPFL

Plusieurs points ressortent de ces études sur modèles :

- Les résultats obtenus sur modèle physique et modèle numérique sont proches ;
- Il est bien nécessaire de positionner des entrées au-dessus des groupes et des entrées plus en aval sur les rives compte tenu du développement de structures turbulentes de surface environ 10 m en aval de l'extrémité des aspirateurs. Les jets issus des entrées de rives demeurent bien structurés, sur une longueur importante et ce, quel que soit le débit turbiné ;
- La meilleure configuration d'entrée de rive est la première initialement envisagée (parallèle au sein de l'écoulement) car elle constitue un abri hydraulique de grande dimension : elle permet aux poissons de « sortir » de la restitution de l'usine et de se retrouver dans une zone plus calme au sein de laquelle les jets de la passe sont nettement perceptibles ;
- Lorsque seule une des deux vannes de rive (accolées) est alimentée, il est préférable que ce soit celle qui est la plus proche du canal de fuite car son jet est mieux structuré ;
- Sur 9 configurations de turbinage différentes, les entrées au-dessus des groupes 1 et 4 ont une meilleure visibilité que les entrées au-dessus des groupes 2 et 3 en raison des zones plus calmes qui s'installent dans les élargissements du canal de restitution en aval des aspirateurs ;
- Le débit turbiné par un groupe conditionne fortement la portée du jet de l'entrée piscicole située au-dessus de lui. Pour un débit turbiné inférieur à 200 m<sup>3</sup>/s, le jet sortant d'une entrée reste structuré. Il l'est de moins en moins pour des débits supérieurs, 250 m<sup>3</sup>/s représentant un cas limite ;
- Les essais démontrent que le jet issu des entrées est nettement mieux formé avec une chute de 30 cm.



Figure 51: Entrées aval rive droite – Variante 2 : entrée inclinée à 90°. Etat final avec le mur amont pour empêcher le décollement du flux (1), le mur guideau allongé et affiné pour optimiser la répartition du débit sur les deux vannes (2), la 2<sup>ème</sup> modification de l'intérieur de la courbe en un pan (3) et la simplification de la transition « en sifflet » avec la rive à l'aval.

Figure 21 – Configuration d'entrée de rive retenue

### 3.4.3 Configuration finale proposée

Compte tenu des enseignements des modèles, la nécessité absolue d'entrée au-dessus des groupes G2 et G3 n'est pas démontrée. Par ailleurs, compte tenu des sujétions génie civil au-dessus de ces groupes, ces derniers ne seront pas munis d'entrées.

En complément, les modèles ont montré que les groupes G2 et G3 n'avaient qu'une faible influence sur les conditions hydrauliques au-dessus des groupes G1 et G4 ce qui permettra de gérer les entrées en fonction uniquement des débits des groupes G1 et G4 et du niveau dans le canal de restitution. En revanche, la gestion des entrées de chacune des rives sera indépendante de celle de l'autre rive.

Nous retiendrons de plus :

- Une entrée au-dessus du groupe de rive. Elle se compose de deux vannes de 2,2 m de large situées dans le mur de fermeture de la loge de rive ;
- Une entrée de rive située environ 60 m en aval de l'usine. Elle aussi se compose de deux vannes de 2,2 m de large. La configuration générale de cette entrée est parallèle à la berge ;
- Chaque vanne des entrées est, soit en fonctionnement, soit fermée. En fonctionnement, elle délivre 5 m<sup>3</sup>/s sous une chute de 30 cm et un ennoiment aval de 1,5 m. Cela permet une répartition modulable du débit de montaison total de 15 m<sup>3</sup>/s sur 3 vannes en fonction des configurations de turbinage de l'usine. Il y a donc systématiquement l'une des 4 vannes fermée dans cette configuration ;
- Un fonctionnement particulier restera possible : lorsque l'usine turbinera son débit maximum, la totalité des 15 m<sup>3</sup>/s pourra être délivrée par les deux vannes de l'entrée de rive. Chaque vanne délivrera alors 7,5 m<sup>3</sup>/s. Les deux vannes groupe seront alors fermées ;
- Les loges non utilisées pour l'implantation de l'entrée ne seront pas fermées.

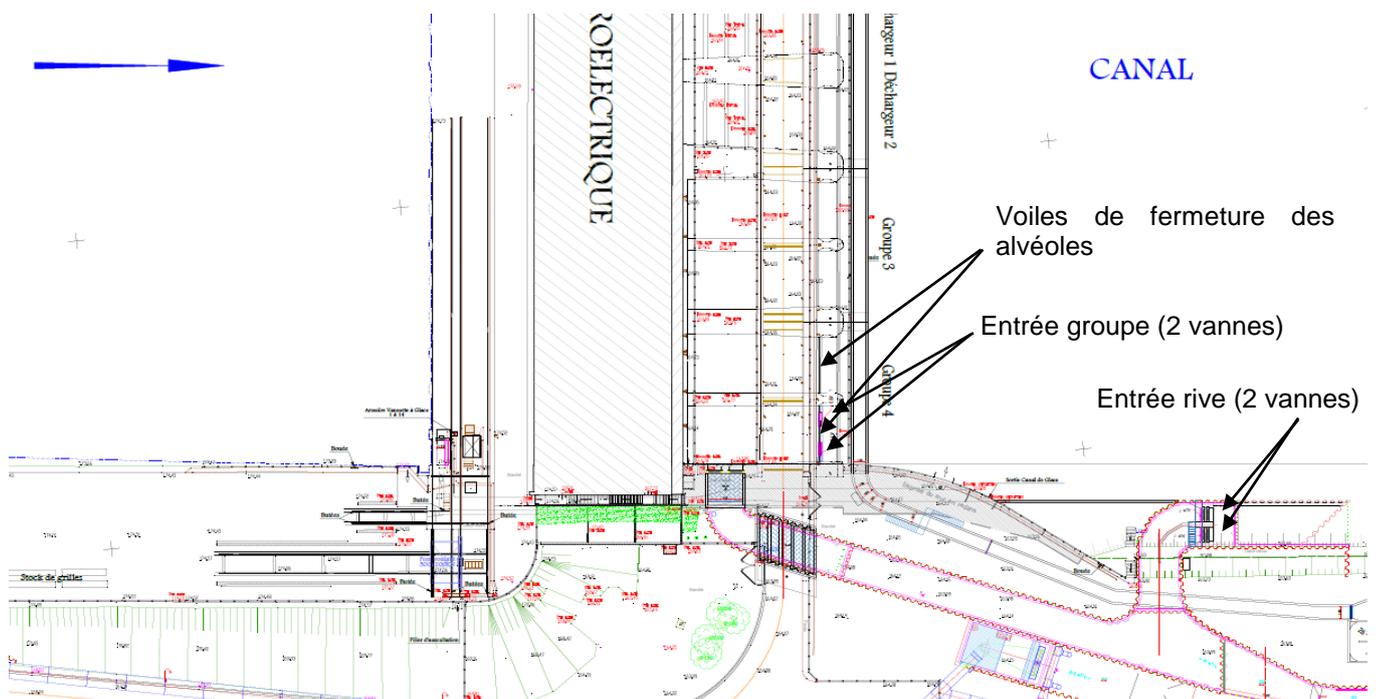


Figure 22 – Configuration finale des entrées rive droite

### 3.5 ANATOMIE DE L'OUVRAGE

L'ouvrage de montaison assurera cinq fonctions :

- Une fonction de **collecte** ; les poissons du canal de restitution de l'usine seront attirés par les jets issus des entrées piscicoles en rive et au-dessus des groupes, et ceci en rive droite et en rive gauche ;
- Une fonction de **transfert** ; compte tenu de l'emprise importante de l'ouvrage, sept canaux de transfert sont nécessaires pour regrouper les poissons depuis les entrées piscicoles, les amener à un même point de comptage (sur la rive droite), et, en optimisant, l'insertion topographique de l'ouvrage, contourner l'usine et regagner le canal d'aménée en amont ;
- Une fonction d'**élévation** ; le franchissement de l'aménagement hydroélectrique (~13 m) sera fractionné (6 m puis 7 m) et assuré par quatre passes à bassins (une en rive gauche, une en rive droite, une passe de transfert en rive droite et une en amont) ;
- Une fonction de **surveillance** ; un local de comptage vidéo permettra le dénombrement des poissons et la vérification de la fonctionnalité biologique de l'ouvrage ;
- Une fonction de **capture** ; une station de capture sera insérée dans l'ouvrage, en amont du local de comptage, pour pouvoir, à la demande, capturer des poissons à des fins de marquage et de suivis biologiques (notamment des saumons chez qui le phénomène de philopatrie<sup>3</sup> justifie une capture au plus près des zones au niveau desquelles un suivi d'individus marqués est envisagé).

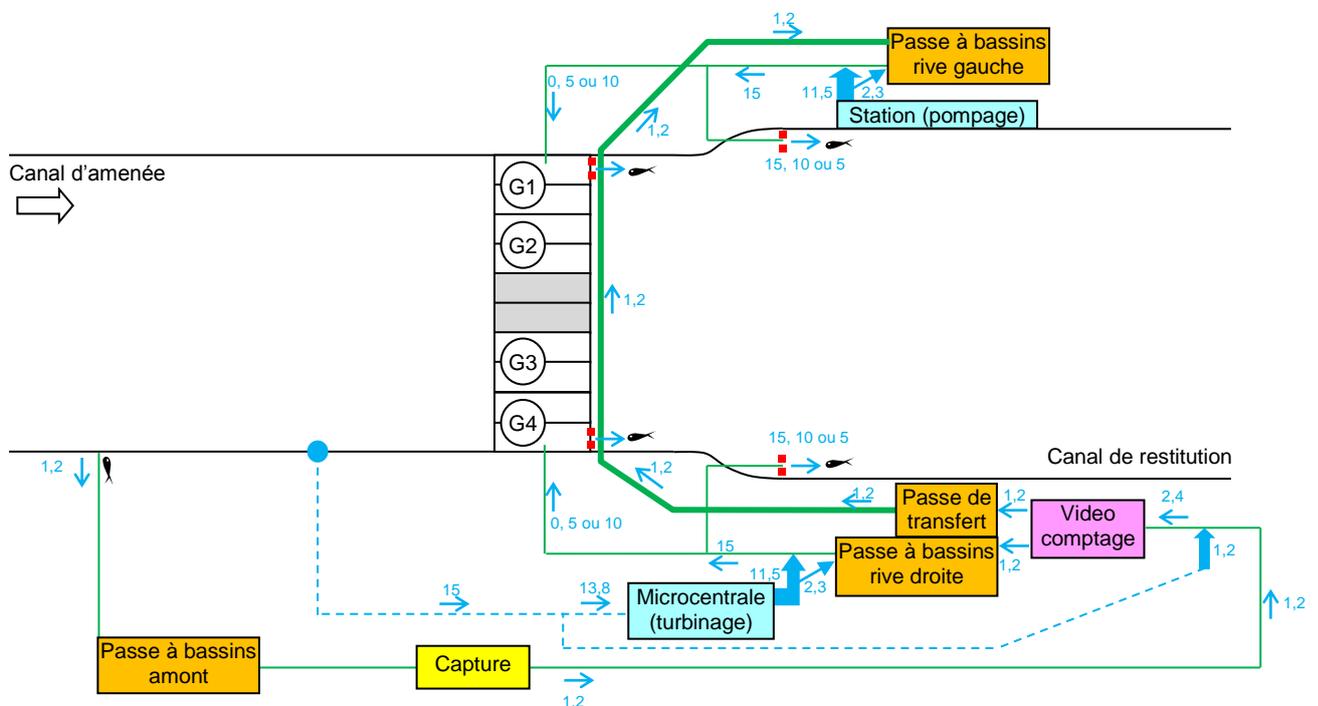


Figure 23 – Schéma fonctionnel de l'ouvrage de montaison de Rhinau

<sup>3</sup> Philopatrie = homing = propension d'un poisson à venir se reproduire sur les lieux de sa naissance

## 4. DIMENSIONNEMENT

### 4.1 PRINCIPES GENERAUX DE DIMENSIONNEMENT

Le dimensionnement de l'ouvrage de Rhinau est fait en exploitant au maximum le retour d'expérience acquis sur les passes à poissons d'Iffezheim, Gambsheim, Strasbourg, Gerstheim, Brisach et Kembs.

Cela conduit à préconiser :

- Une gamme de fonctionnement pour des débits du Rhin compris entre 500 et 2000 m<sup>3</sup>/s ;
- Un débit total par rive de 15 m<sup>3</sup>/s ;
- Des entrées piscicoles localisées à proximité des turbines et également en berge plus en aval et sur chaque rive ;
- Des fonctionnements et des dimensions d'entrées piscicoles adaptés aux espèces les plus exigeantes (notamment l'alose) ;
- Une souplesse dans l'utilisation des entrées en fonction des configurations de turbinage de l'usine ;
- Des galeries de liaison au sein de l'ouvrages adaptées à la progression des poissons (vitesses d'écoulement attractives mais non sollicitantes ; rugosités de fond pour aider à la progression) ;
- Une injection du débit d'attrait aux travers de grilles fines (pivotantes et se retournant à intervalles de temps réguliers pour assurer le décolmatage) et fractionnée pour mieux guider le poisson dans la suite de sa progression vers l'amont ;
- Des passes à bassins de débit nominal de l'ordre de 1,2 m<sup>3</sup>/s, à fentes profondes de 40 cm de large ; les radiers des bassins son munis de rugosités de fond de type « plots en semis » ;
- Un nombre limité de bassins de retournement dans les passes et un design adapté pour éviter les ascendances dans les coins des bassins et la création d'un « tube » de courant entre les fentes amont et aval ;
- Un local vidéo avec vitre de comptage munie d'un système mécanique de nettoyage, un rétroéclairage, une largeur de passage devant la vitre permettant d'avoir des vitesses d'écoulement de l'ordre de 1,2 à 1,3 m/s, une plaque de fond formant un petit seuil et de couleur claire pour faciliter le comptage des anguilles ; le comptage séparé des effectifs provenant de la rive droite et de la rive gauche nécessitant un local vidéo à deux chenaux (comme à Kembs), le nez amont du local sera muni d'un bec séparateur limitant la tentation pour les poissons de faire des aller-venues entre les deux chenaux ce qui perturberait le comptage ;
- Une injection de débit complémentaire de 1,2 m<sup>3</sup>/s, au travers de grilles fines rotatives, pour alimenter la partie de l'ouvrage située en rive opposée ;
- Des changements de direction des canaux de liaison limitant les décollements et les zones de recirculation propices à la stagnation de certaines espèces ;
- Tout en amont, une entrée hydraulique (sortie piscicole) permettant une alimentation correcte en débit, sans formation de zones de recirculation, avec une bonne continuité des vitesses dans une gamme compatible avec la montaison des poissons ciblés et limitant l'entrée des corps flottants. En ce qui concerne ce dernier point, les masques de surface associés à des vitesses tangentielles relativement importantes (ordre de grandeur : supérieures à 50 cm/s) semblent la solution la plus appropriée ;

- Une vanne de condamnation amont munie d'une vannette permettant de maintenir un faible débit dans la passe pour éviter l'échouage des poissons lors de la vidange de l'ouvrage.

Pour la station de capture, le design global de la station de Gamsheim donnant satisfaction, il sera copié et adapté au site de Rhinau. Nous intégrerons cependant les dernières améliorations apportées à la cage de capture à Iffezheim (prolongement amont de la cage, cache pour zone de repos) et à Golfech (possibilité de lever la face amont de la cage seulement).

La présence du silure étant nettement avérée sur le Rhin (comptages de Gamsheim et dénombrements subaquatiques dans le Vieux-Rhin) et compte tenu de la longueur importante des chenaux de liaison de l'ouvrage projeté, on en peut pas exclure que l'ouvrage de montaison soit utilisé par le silure pour prédater des poissons dans la passe.

Bien que des tentatives aient été menées pour limiter la venue du silure dans les ouvrages de migration (goulet anti-retour du chenal de transfert de Golfech sur la Garonne) aucune solution ne semble adaptée dans le cas de Rhinau.

## 4.2 RAPPELS SUR LES GAMMES DE FONCTIONNEMENT

L'ouvrage sera fonctionnel pour des débits de Rhin compris entre 500 et 2000 m<sup>3</sup>/s.

Pour cette gamme de débits, les niveaux :

- dans le canal d'amenée de l'usine, sont compris dans la gamme 172,7 – 173,3 NN, mais un niveau transitoire exceptionnel proche de 173,6 NN peut être atteint.
- dans le canal de restitution de l'usine, sont compris dans la gamme 159,8 – 160,8 NN.

En termes de fréquence, l'analyse des niveaux amont montre que la médiane correspond à la cote 173 NN ce qui signifie que le niveau du canal d'amenée est aussi souvent supérieur qu'inférieur à cette valeur.

Cette cote sera utilisée pour définir le fonctionnement nominal de l'ouvrage de montaison à l'exception des prises d'eau.

Pour le design des prises d'eau, les niveaux de 172,80 NN et de 172,55 NN sont retenus.

En dehors de la gamme de débits du Rhin 500 - 2000 m<sup>3</sup>/s, l'ouvrage de migration ne sera pas en fonctionnement.

Le débit retenu dans le Rhin pour le design des prises d'eau (prise d'eau du débit d'attrait et sortie piscicole) est de 1500 m<sup>3</sup>/s.

### 4.3 PREDIMENSIONNEMENT

Sur les ouvrages du Rhin, le débit nominal retenu est de 1,2 m<sup>3</sup>/s.

A ce débit, la profondeur moyenne dans les bassins des passes est de 1,8 m.

Afin de limiter les variations de hauteur d'eau dans l'ouvrage, cette même valeur a été retenue pour les écoulements dans les canaux de liaison de l'ouvrage.

L'ordre de grandeur de la vitesse d'écoulement retenue au sein des canaux est de 40 cm/s ce qui conduit à proposer des canaux de 1,8 m de large.

Les passes à bassins seront dimensionnées par analogie avec les autres passes du Rhin.

Pour une pente classique de passe à poissons sur le Rhin (5,7%) et en raison de la présence de rugosités de fond (densité proche de 10%), on peut retenir un coefficient de débitance des fentes de 0,8.

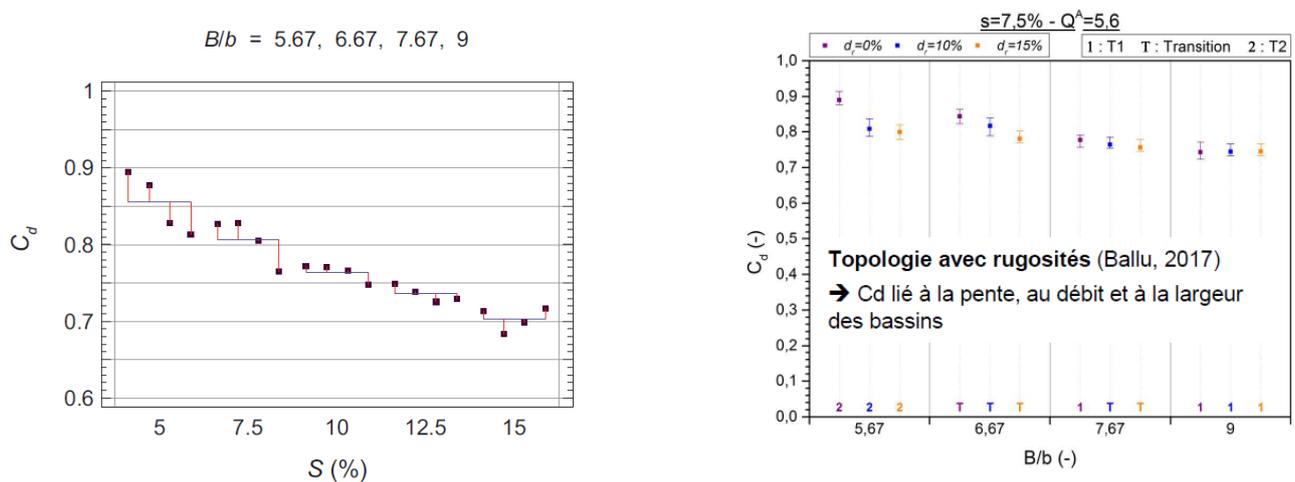


Figure 24 - Coefficient de débitance des fentes (Ballu, 2017 et Wang, 2010)

Compte tenu des espèces cibles, on souhaite obtenir des chutes de 20 cm au niveau des fentes.

La largeur retenue pour les fentes est fixée à 40 cm (valeur qui convient également à l'alse).

#### 4.3.1 Evaluation des pertes de charge linéaires

Le terme d'énergie cinétique de l'écoulement sera alors faible :  $V^2/2g \sim 1$  cm.

Pour les canaux de liaison dont les parois sont en béton lisse, et le radier muni de macrorugosités profilées et largement espacées, nous estimons la perte de charge linéaire au

moyen de la formule de Manning-Strickler<sup>4</sup> avec un coefficient de  $80 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Elle est de 0,5 cm / 100 m, donc négligeable.

Pour les canaux de liaison dont les parois latérales verticales sont en palplanches (ondulations de 0,45 m d'amplitude sur une longueur de 0,6 m) et le fond en béton lisse, les études d'EDF R&D LNHE menées sur Gerstheim ont montré que l'on pouvait considérer un coefficient de frottement de Colebrook de 0,15. Dans le cas de Rhinau, ces canaux seront également munis sur le radier de macrorugosités profilées et largement espacées (écarts de 2 m) dont le frottement sera considéré comme négligeable.

Ces canaux seront présents en partie basse de l'ouvrage, zones où l'ouvrage est en déblai par rapport au terrain naturel. Compte tenu des hauteurs attendues dans ce secteur, et pour respecter le critère de vitesse d'écoulement proche de 40 cm/s, la largeur de ces canaux sera de l'ordre de 6 m.

Dans ces conditions, la perte de charge linéaire peut être estimée par la formule de Colebrook<sup>5</sup> (périmètre mouillé = 2 x hauteur en eau).

Elle est de 3 cm / 100 m, donc négligeable compte tenu de la longueur maximale des linéaires de canaux considérés dans l'ouvrage (~ 80 m).

### 4.3.2 Evaluation des pertes de charge singulières

#### 4.3.2.1 Coudes

L'ensemble des coudes de l'ouvrage seront profilés pour éviter les décollements au niveau des parois.

On peut donc retenir un coefficient de perte de charge majorant de 0,3 pour les coudes.

Pour une vitesse d'écoulement de 40 cm/s, la perte de charge singulière par coude est de 0,2 cm.

#### 4.3.2.2 Local vidéo

La perte de charge observée sur la plupart des locaux vidéo est de l'ordre de 5 cm.

Nous retiendrons cette valeur pour le prédimensionnement et affineront ultérieurement son calcul.

#### 4.3.2.3 Injections de débit

Compte tenu de la faiblesse des vitesses d'injection des débits d'attrait et complémentaire (35 cm/s), des vitesses d'écoulement dans les canaux (40 cm/s) et de l'optimisation hydraulique des injections, nous négligerons les pertes de charge singulières.

#### 4.3.2.4 Station de capture

L'obstruction de la station de capture se fait sentir en cas de colmatage de la face amont de la nasse de piégeage.

<sup>4</sup>  $Q = K \cdot S_h \cdot R_h^{2/3} \cdot J^{1/2}$ , où Q est le débit en  $\text{m}^3/\text{s}$ , K le coefficient de Strickler en  $\text{m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $S_h$  la section mouillée en  $\text{m}^2$ ,  $R_h$  le rayon hydraulique en m, J la pente de la ligne d'énergie (égale à la pente du radier pour un écoulement uniforme)

<sup>5</sup>  $\Delta h_{g1} = \frac{L}{D_h} \cdot \lambda \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$ , avec L la longueur du tronçon en m,  $D_h$  le diamètre hydraulique en m,  $\lambda$  le coefficient de frottement de Colebrook, V la vitesse en m/s, g l'accélération de la pesanteur

En fonctionnement normal, elle est négligeable.

Toutefois, par souci de sécurité, nous considérerons que la perte de charge singulière au niveau de la station de capture est de 5 cm.

#### 4.3.2.5 Prégrille amont

Le canal de liaison amont sera muni d'une prégrille grossière (espacement interbarreaux de 30 cm) permettant de stopper les débris les plus importants qui auraient réussi à franchir la sortie piscicole.

La perte de charge de cette grille lorsqu'elle est propre est totalement négligeable ; elle peut toutefois aller jusqu'à 5 cm pour un colmatage de 50% (estimation par l'outil de calcul OFB).

#### 4.3.2.6 Sortie piscicole

La sortie piscicole est la jonction entre l'ouvrage de montaison et le canal d'amenée.

Elle sera munie d'un masque de surface posé sur le talus du canal d'amenée de façon à permettre le « glissement » des débris vers l'aval.

L'adduction d'eau nécessitera donc un passage sous le masque et ce avec changement de direction.

Par ailleurs, afin de limiter la longueur de passage souterrain sous la route longeant le canal d'amenée, un coude sera positionné pour orienter l'écoulement perpendiculairement à la route.

Par la suite, un nouveau changement de direction sera nécessaire pour que l'écoulement puisse longer le canal éclusier.

Tous les coudes seront profilés.

On en première approche, on estime à 5 cm la perte de charge singulière due à ce dispositif

#### 4.3.3 Estimation de la répartition des débits entre la rive droite et la rive gauche

L'évaluation des pertes de charge nous permet de constater que les différences seront faibles entre les deux branches en aval du local vidéo ce qui devrait garantir une équirépartition des débits entre les deux branches.

## 4.4 DIMENSIONNEMENT DES ELEMENTS DE L'OUVRAGE

### 4.4.1 Procédure

Le dimensionnement d'un ouvrage de migration est un processus itératif. On détermine une première géométrie. On se donne un débit d'alimentation. On détermine les niveaux d'eau correspondant à ce débit dans la partie aval de l'ouvrage. Puis de proche en proche, en remontant vers l'amont et à la manière d'un calcul de ligne d'eau, on détermine les niveaux d'eau en différents points du système. Si la cote amont correspond à la condition limite amont que l'on se donne, le débit est conservé sinon il est modifié et le calcul est reconduit jusqu'à retrouver la bonne condition limite amont.

Une fois la ligne d'eau calculée, on s'assure de la compatibilité des conditions d'écoulement avec les capacités physiques des poissons.

Dans le cas contraire, la géométrie est revue.

Pour Rhinau, la géométrie est prédéterminée en s'inspirant des ouvrages déjà construits sur le Rhin.

A l'aide de ces prédimensionnements, il est possible de définir les débits d'alimentation.

Les lignes d'eau peuvent alors être calculées.

### 4.4.2 Alimentation en eau

L'alimentation en eau de l'ouvrage de migration est assurée :

- Par le débit de la passe amont depuis le canal d'amenée de l'usine sans régulation. Ce débit varie donc avec le niveau du canal d'amenée ;
- Par le débit complémentaire, dont la valeur varie en fonction de la cote en amont du local vidéo. L'objectif est que le local vidéo soit toujours alimenté par un débit de 2,4 m<sup>3</sup>/s ;
- Par les débits d'attrait de 13,8 m<sup>3</sup>/s pour chacune des rives. Ces débits sont constants.

Les variations de niveau dans le canal d'amenée de l'usine sont réparties de la sorte :

- Minimum : 172,44 NN
- Fractile 5% : 172,7 NN
- Fractile 50% : 173 NN
- Fractile 95% : 173,3 NN
- Maximum : 173,6 NN

*Les valeurs extrêmes sont atteintes lors d'événements transitoires.*

Une perte de charge de 10 cm peut être appliquée entre le canal d'amenée et l'amont de la passe amont afin d'évaluer le niveau d'eau en amont immédiat de la passe.

Dans un premier temps, on considère une passe à bassins de type « Gerstheim ». Les cloisons sont munies de fentes de 40 cm de large et les cloisons sont limitées à 2,3 m au-dessus du niveau du point bas de la fente. Pour les niveaux d'eau les plus élevées, la cloison peut se comporter comme un seuil déversant.

Compte tenu de la hauteur de franchissement, la fente la plus amont de la passe amont ne subit pas d'influence aval. La chute y est donc toujours de 20 cm et la condition limite en aval de la passe n'a donc aucune influence sur le calcul des débits transitant dans l'ouvrage. Nous prendrons le niveau aval égal à 166,15 NN (justification ultérieure).

La modélisation Cassiopée conduit alors aux résultats suivants (cf. ANNEXE 1) :

Cote canal d'amenée (NN)	Cote amont passe (NN)	Débit passe (m <sup>3</sup> /s)	Hauteur d'eau max cloison amont (m)
172.44	172.34	0.85	1.34
172.7	172.6	1	1.6
173	172.9	1.2	1.9
173.3	173.2	1.4	2.2
173.6	173.5	1.93	2.5

Les résultats appellent deux réflexions :

- Seules les fentes débitent dans la gamme de fonctionnement de l'ouvrage ;
- Pour les niveaux les plus élevés, atteints de façon transitoire, la vitesse d'écoulement dans le canal de liaison sera de environ  $1,93 / 1,8 / (166,15 - 164,55) = 67$  cm/s. Compte tenu de l'approfondissement du canal en allant vers l'aval, la vitesse deviendra rapidement de l'ordre de 60 cm/s, borne supérieure des vitesses acceptables pour les poissons.

**En fonctionnement normal, le débit amont d'alimentation sera donc de 1,2 m<sup>3</sup>/s ± 0,2 m<sup>3</sup>/s.**

**Rarement, notamment lors de phénomènes instationnaires, il pourra descendre à 0,85 m<sup>3</sup>/s et monter à 1,93 m<sup>3</sup>/s.**

**En aval, le débit complémentaire s'ajustera pour obtenir un débit total de 2,4 m<sup>3</sup>/s qui se répartira en 1,2 m<sup>3</sup>/s par branche du local vidéo et donc par rive.**

**Le débit d'attrait étant constant et égal à 13,8 m<sup>3</sup>/s, l'alimentation des entrées piscicoles se fera avec un débit constant de 15 m<sup>3</sup>/s.**

#### 4.4.3 Détermination des lignes d'eau

La détermination se fait de l'aval vers l'amont.

##### 4.4.3.1 Entrées piscicoles

Par rive, les entrées piscicoles sont au nombre de quatre : deux au-dessus des groupes en berge, et deux en rive plus en aval.

Chaque sortie est soit en fonctionnement, soit fermée. Elle permet le transit d'un débit de 5 m<sup>3</sup>/s.

En fonctionnement nominal, trois sorties sur quatre seront en fonctionnement pour assurer l'évacuation du débit de 15 m<sup>3</sup>/s.

Elles sont munies d'une vanne asservie au niveau aval pour maintenir une chute d'entrée de 30 cm (valeur préconisée par le modèle physique EPFL). Toutefois, nous prévoyons que la valeur de la chute soit ajustable entre les valeurs 20 et 30 cm pour permettre une adaptation ultérieure en fonction des conditions d'écoulement réellement rencontrées.

La largeur de la vanne est de 2,2 m.

Bien que le niveau en aval puisse évoluer entre les cotes 159,8 et 160,8 NN, l'étude des enregistrements de cote montre que pour des débits turbinés inférieurs à 1400 m<sup>3</sup>/s, la cote aval est la plupart du temps inférieure à 160,5 NN.

On convient donc de dimensionner la course de la vanne asservie pour que cette dernière puisse maintenir des chutes de 20, 25 ou 30 cm pour des niveaux aval entre 159,8 et 160,5 NN.

Cela définit une course de vanne entre les cotes 158,1 et 159,1 NN. (Cf. tableaux ci-après)

Q=5 m<sup>3</sup>/s

Niveaux canal de restitution	Chute 20 cm	Chute 25 cm	Chute 30 cm
159.8	158.08	158.27	158.42
159.85	158.13	158.32	158.47
159.9	158.18	158.37	158.52
159.95	158.23	158.42	158.57
160	158.28	158.47	158.62
160.05	158.33	158.52	158.67
160.1	158.38	158.57	158.72
160.15	158.43	158.62	158.77
160.2	158.48	158.67	158.82
160.25	158.53	158.72	158.87
160.3	158.58	158.77	158.92
160.35	158.63	158.82	158.97
160.4	158.68	158.87	159.02
160.45	158.73	158.92	159.07
160.5	158.78	158.97	159.12
160.55	158.83	159.02	159.17
160.6	158.88	159.07	159.22
160.65	158.93	159.12	159.27
160.7	158.98	159.17	159.32
160.75	159.03	159.22	159.37
160.8	159.08	159.27	159.42

Pour les niveaux de forts turbinages à l'usine, un fonctionnement exceptionnel est possible.

Quand, dans le canal de restitution, les niveaux d'eau sont élevés (supérieurs à 160,5 NN) et que le débit du groupe de rive (G1 ou G4) dépasse une valeur seuil (autour de 300 m<sup>3</sup>/s), seules les deux entrées de rive sont ouvertes. Chacune de leurs vannes laisse alors transiter 7,5 m<sup>3</sup>/s.

Dans ce mode de fonctionnement, les hauteurs des chutes d'entrée seront de 25 ou 30 cm.

Q=7.5 m<sup>3</sup>/s

Niveaux canal de restitution	Chute 20 cm	Chute 25 cm	Chute 30 cm
159.8	157.25	157.5	157.7
159.85	157.3	157.55	157.75
159.9	157.35	157.6	157.8
159.95	157.4	157.65	157.85
160	157.45	157.7	157.9
160.05	157.5	157.75	157.95
160.1	157.55	157.8	158
160.15	157.6	157.85	158.05
160.2	157.65	157.9	158.1
160.25	157.7	157.95	158.15
160.3	157.75	158	158.2
160.35	157.8	158.05	158.25
160.4	157.85	158.1	158.3
160.45	157.9	158.15	158.35
160.5	157.95	158.2	158.4
160.55	158	158.25	158.45
160.6	158.05	158.3	158.5
160.65	158.1	158.35	158.55
160.7	158.15	158.4	158.6
160.75	158.2	158.45	158.65
160.8	158.25	158.5	158.7

Le fonctionnement proposé pour ces entrées est fondé sur les observations réalisées sur les modèles physiques et numériques de l'EPFL :

- Les deux rives fonctionnent de façon indépendante ;
- Quand sur une rive le débit du groupe de rive est strictement inférieur à une valeur Q<sub>seuil1</sub> (potentiellement entre 175 et 225 m<sup>3</sup>/s et que l'on prendra égale à 200 m<sup>3</sup>/s en première intention), les deux vannes au-dessus du groupe de rive sont ouvertes et une vanne aval est ouverte (de préférence celle qui est située côté canal de restitution mais suite aux observations in situ, ce pourrait être l'autre) ;
- Quand sur une rive le débit du groupe de rive est égal à la valeur Q<sub>seuil1</sub>. Une vanne au-dessus du groupe de rive est fermée (en première intention, la plus proche de la rive, mais suite aux observations in situ, ce pourrait être l'autre) et la seconde vanne aval est ouverte ;
- Quand sur une rive le débit du groupe de rive est compris entre la valeur Q<sub>seuil1</sub> et une seconde valeur seuil Q<sub>seuil2</sub> (potentiellement entre 275 et 325 m<sup>3</sup>/s et que l'on prendra égale à 300 m<sup>3</sup>/s en première intention), une vanne au-dessus du groupe de rive est fermée (en première intention, la plus proche de la rive, mais suite aux observations in situ, ce pourrait être l'autre) et la seconde vanne aval est ouverte ;
- Quand sur une rive le débit du groupe de rive est supérieur à la valeur seuil Q<sub>seuil2</sub>, on regarde la cote dans le canal de restitution :

- Si cette cote est inférieure à 160,5 NN, une vanne au-dessus du groupe de rive est fermée (en première intention, la plus proche de la rive, mais suite aux observations in situ, ce pourrait être l'autre) et la seconde vanne aval est ouverte ;
- Si cette cote est supérieure à 160,5 NN, les vannes au-dessus du groupe de rive sont fermées et les vannes aval sont ouvertes. La totalité des 15 m<sup>3</sup>/s transite par les vannes aval.

En dehors de la plage de fonctionnement de l'ouvrage de migration, les entrées seront fermées par une vanne de condamnation située en aval de la vanne de réglage. Une exception sera faite sur les entrées aval de la rive droite en cas de fonctionnement de la microcentrale de turbinage du débit d'attrait.

#### 4.4.3.2 Canaux d'alimentation des entrées piscicoles

Le canal d'alimentation des entrées situées au-dessus des groupes a un radier coté à 157 NN. Il mesure 5,5 m de largeur.

Le canal d'alimentation des entrées de rive a un radier coté à 156,40 NN et une largeur de 6 m.

Les hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulement dans les canaux sont indiquées dans les tableaux ci-après.

Débit 5 m <sup>3</sup> /s								
Canal entrées groupe					Canal entrées rive			
Niveau mini (159,8 + 0,2 = 160 NN)	Hauteur	3.0 m	Vitesse	30 cm/s	Hauteur	3.6 m	Vitesse	23 cm/s
Niveau maxi (160,5 + 0,3 = 160,8 NN)	Hauteur	3.8 m	Vitesse	24 cm/s	Hauteur	4.4 m	Vitesse	19 cm/s

Débit 10 m <sup>3</sup> /s								
Canal entrées groupe					Canal entrées rive			
Niveau mini (159,8 + 0,2 = 160 NN)	Hauteur	3.0 m	Vitesse	60 cm/s	Hauteur	3.6 m	Vitesse	46 cm/s
Niveau maxi (160,5 + 0,3 = 160,8 NN)	Hauteur	3.8 m	Vitesse	48 cm/s	Hauteur	4.4 m	Vitesse	38 cm/s

Débit 15 m <sup>3</sup> /s								
					Canal entrées rive			
Niveau mini (160,5 + 0,2 = 160,7 NN)					Hauteur	4.3 m	Vitesse	58 cm/s
Niveau maxi (160,8 + 0,3 = 161,1 NN)					Hauteur	4.7 m	Vitesse	53 cm/s

Les canaux seront munis de macrorugosités de fond (cylindres de diamètre 40 cm et de hauteur 20 cm) dont le motif est indiqué ci-après. Le nombre des macrorugosités sera à adapter en fonction de la largeur des canaux.

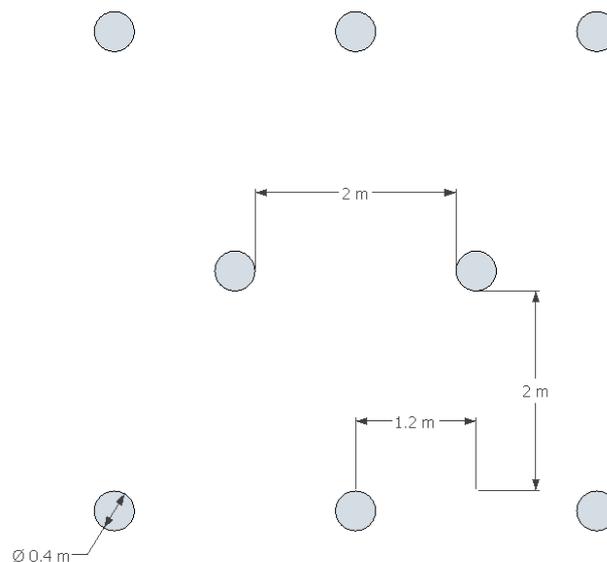


Figure 25 – Macro-rugosités de fond dans les canaux

#### 4.4.3.3 Injection du débit d'attrait rive droite

La valeur du débit d'attrait sera constante et égale à 13,8 m<sup>3</sup>/s.

Afin d'améliorer le guidage des poissons, l'injection sera fractionnée et se fera au travers de deux grilles fines d'espacement entre barreaux 20 mm.

La première grille se situera dans le bassin de répartition du débit d'attrait.

Les niveaux d'eau dans ce bassin évolueront entre 160 et 161,1 NN.

Le pied de grille sera calé à 157 NN.

La grille comportera une partie fixe de 20 cm de haut. Au-dessus une partie mobile (retournable, par panneaux, pour assurer le nettoyage) s'étendra de la cote 157,20 à la cote 161,2 NN minimum.

Afin de garantir une vitesse d'injection inférieure à 35 cm/s, même si la partie fixe est totalement colmatée, la grille mesurera de l'ordre de 11,6 m de large.

Grande grille d'injection								
Niveau mini (159,8 + 0,2 = 160 NN)	Hauteur en eau	2.80 m	Largeur	11.60 m	Surface mouillée	32.48 m <sup>2</sup>	Vitesse	35 cm/s
Niveau maxi (160,8 + 0,3 = 161,1 NN)	Hauteur en eau	3.90 m	Largeur	11.60 m	Surface mouillée	45.24 m <sup>2</sup>	Vitesse	25 cm/s

La seconde grille se situera dans le bassin aval de la passe à bassins aval (bassin n°64).

Le calcul des lignes d'eau dans la passe rive droite (cf. ANNEXE 2) montre que les niveaux d'eau dans ce bassin évolueront entre 160,21 et 161,21 NN.

Le pied de grille sera calé à 158,5 NN.

La grille comportera une partie fixe de 20 cm de haut. Au-dessus une partie mobile (retournable, par panneaux, pour assurer le nettoyage) s'étendra de la cote 158,7 à la cote 161,3 NN minimum.

Afin de garantir une vitesse d'injection inférieure à 35 cm/s, même si la partie fixe est totalement colmatée, la grille mesurera de l'ordre de 5 m de large.

Petite grille d'injection								
Niveau mini (159,8 + 0,2 + 0,21) = 160,21 NN)	Hauteur en eau	1.51 m	Largeur	5.00 m	Surface mouillée	7.55 m <sup>2</sup>	Vitesse	30 cm/s
Niveau maxi (160,8 + 0,3 + 0,11) = 161,21 NN)	Hauteur en eau	2.51 m	Largeur	5.00 m	Surface mouillée	12.55 m <sup>2</sup>	Vitesse	18 cm/s

La perte de charge à la traversée des grilles en fonction du taux de colmatage et des niveaux d'eau est donnée par le graphique ci-après.

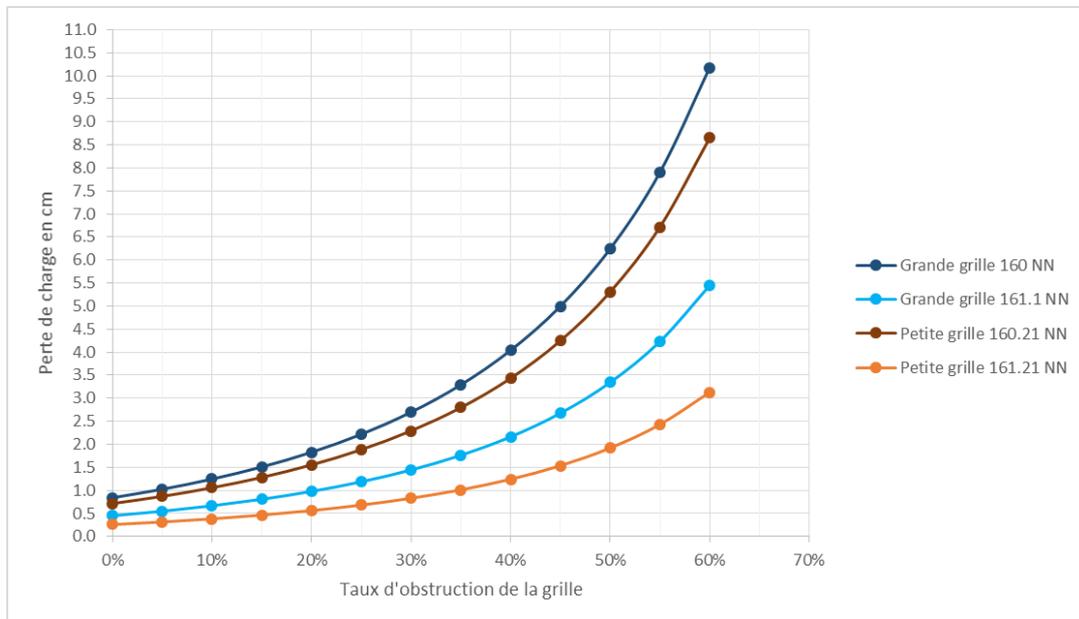


Figure 26 – Pertes de charge aux grilles de débit d'attrait (Formule de Raynal et al. 2012)

Les grilles rotatives seront retournées tous les jours afin d'assurer un encrassement minimum. La partie fixe de la grille sera nettoyée une fois par an.

On constate que la perte de charge à la traversée des grilles est très faible et négligeable pour des taux de colmatage inférieurs à 30%.

Le bassin de répartition a un radier horizontal coté à 157 NN. Sa forme est celle d'un divergent progressif pour assurer, autant que faire se peut, la progressivité des vitesses d'écoulement.

Dans le canal d'alimentation des entrées de rives, le radier s'approfondit progressivement en même temps que le canal se rétrécit de façon à assurer la progressivité de l'évolution des vitesses.

#### 4.4.3.4 Délivrance et répartition du débit d'attrait rive droite

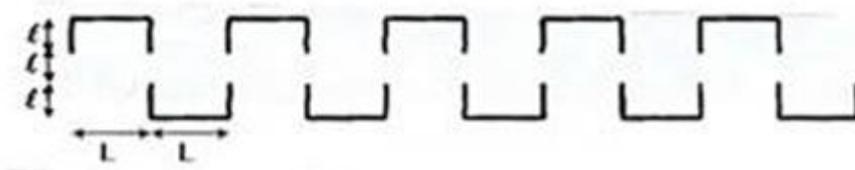
En rive droite, le débit d'attrait est délivré par une microcentrale de turbinage.

Cette dernière turbinera un débit constant de 13,8 m<sup>3</sup>/s.

En cas d'indisponibilité de la centrale un by-pass permettra la délivrance du débit et la dissipation de son énergie.

Le canal de restitution de la microcentrale sera constitué d'un canal rectangulaire, de 7,2 m de large, dont le radier sera coté à 157 NN.

Afin d'assurer sa tranquillisation, l'écoulement franchira diverses rangées d'UPN100 implantés comme sur le schéma ci-dessous.



Avec, sur le schéma :  
L = 100mm  
l = 50mm

En aval, le débit sera réparti entre deux canaux :

- Un canal d'alimentation du bassin de répartition (largeur 5,15 m) muni en tête de portes busquées qui formeront une fente toute hauteur à largeur réglable pour assurer la bonne répartition des débits ;
- Un canal d'alimentation du bassin 64 (largeur 1,75 m) qui entonnera l'autre partie du débit.

Plus en aval, les deux canaux seront munis de rangées d'UPN100 en proche amont des grilles d'injection décrites précédemment.

Pour calculer la perte de charge à la traversée des rangées, d'UPN on calcule d'abord la vitesse de l'eau au passage d'un pertuis de 5 cm de large entre deux UPN. On applique ensuite une perte de charge à la Borda (ici le coefficient estimée est de 0,45). On majore ensuite cette perte de charge pour tenir compte du changement de direction entre vitesse incidente et vitesse au travers d'un pertuis (coefficient total = 0,45 + 0,3 = 0,75).

Le tableau ci-après indique les pertes de charges minimale et maximale au droit de chacune des rangées d'UPN :

	Largeur 7,2 m	Largeur 5 m	Largeur 11,5 m
Débit	13.8 m <sup>3</sup> /s	2.3 m <sup>3</sup> /s	11.5 m <sup>3</sup> /s
Niveau mini	160.20 NN	160.20 NN	160.00 NN
Niveau maxi	161.21 NN	161.21 NN	161.10 NN
Hauteur mini	3.20 m	3.20 m	3.00 m
Hauteur maxi	4.21 m	4.21 m	4.10 m
Nb pertuis	71	49	114
Vpertuis maxi	1.21 m/s	0.29 m/s	0.67 m/s
Vpertuis mini	0.92 m/s	0.22 m/s	0.49 m/s
Perte maxi	5.6 cm	0.3 cm	1.7 cm
Perte mini	3.3 cm	0.2 cm	0.9 cm

Les pertes de charge à la traversée des rangées d'UPN sont les plus importantes lorsque les niveaux dans le canal de restitution de l'usine sont les plus bas.

Les rangées d'UPN situées en amont des grilles d'injection génèrent des pertes de charge faibles (< 2 cm).

La rangée d'UPN situé en aval de la microcentrale génère une perte de charge un peu plus importante (de l'ordre de 5 cm).

Au final, le niveau d'eau en aval immédiat du groupe de turbinage devrait varier entre environ 160,3 NN et 161,3 NN.

Niveau bassin de répartition	Niveau canal alimentation bassin de répartition	Niveau canal alimentation bassins 64	Niveau aval microcentrale	Chute portes busquées	Ouverture portes pour 11,5 m <sup>3</sup> /s
Mini (159,8 + 0,2 = 160 NN)	160 + 0.017 + 0.01 = 160.03 NN	160 + 0.21 + 0.002 + 0.01 = 160.22 NN	160.27 NN	19 cm	2.30 m
Maxi (160,8 + 0,3 = 161.1 NN)	161.1 + 0.009 + 0.005 = 161.11 NN	161.1 + 0.11 + 0.003 + 0.005 = 161.22 NN	161.27 NN	11 cm	2.32 m

Afin de garantir le passage d'un débit de 11,5 m<sup>3</sup>/s, les portes busquées devront être ouvertes de 2,3 m à niveau bas et de 2,32 m à niveau haut. Elles seront prévues réglables mais en pratique, leur écartement sera fixe compte tenu des faibles différences d'ouverture entre niveaux mini et maxi.

#### 4.4.3.5 Passe à bassins rive droite

Afin d'exploiter au mieux les possibilités du terrain naturel, la passe sera composée de 29 bassins et 30 chutes. Le radier sera linéaire.

La géométrie du premier bassin sera la suivante :

- Radier :
  - cote amont 164,10 NN,
  - cote médiane  $164,10 - 0,2/2 = 164$  NN,
  - cote aval =  $164,10 - 0,2 = 163,9$  NN ;
- Longueur du bassin : 3,5 m ;
- Largeur du bassin : 3 m ;
- Pente du radier = 5,7% (0,2 m / 3,5 m);
- Profondeur moyenne : 1,8 m pour 1,2 m<sup>3</sup>/s ;
- Taux de dissipation volumique : autour de 125 W/m<sup>3</sup>.

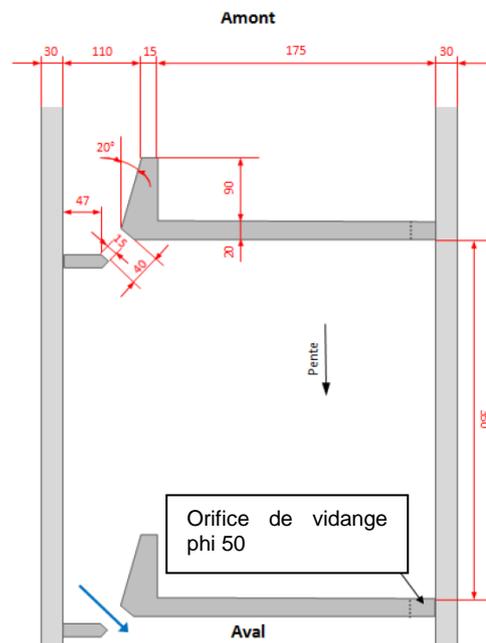


Figure 27 – Dimensions des bassins des passes à poissons

Les cloisons seront munies de fentes de 0,4 m de large et de 2,3 m de haut ; le reste de la cloison formera un seuil déversant de  $1,75 + 0,47 = 2,22$  m de large situé à 2,3 m au-dessus du radier.

Un orifice circulaire phi 50 sera ménagé près du radier dans la cloison afin de permettre la vidange total du bassin lors des opérations de maintenance (notamment la partie située derrière le déflecteur de la fente).

Le bassin le plus aval (bassin 64) mesurera 9,5 m de long et 3,8 m de large. Son radier ira de la cote 158,5 NN à la cote 157,5 NN.

La cloison la plus aval sera munie d'une fente de 0,8 m de large dont le seuil sera coté à 157,5 NN. En aval un plan incliné permettra au radier de rejoindre la cote 157 NN. De même, en aval de la fente, les bajoyers de cette dernière rejoindront progressivement les bajoyers du bassin aval.

Les radiers de tous les bassins de la passe seront munis de rugosités proches de celles de la passe de Gerstheim afin d'aider à la progression des anguilles, des petites espèces et des espèces benthiques. Il s'agit de cylindres de 20 cm de diamètre et de 20 cm de haut, perpendiculaire au radier, dont la répartition sur le radier est décrite ci-après :

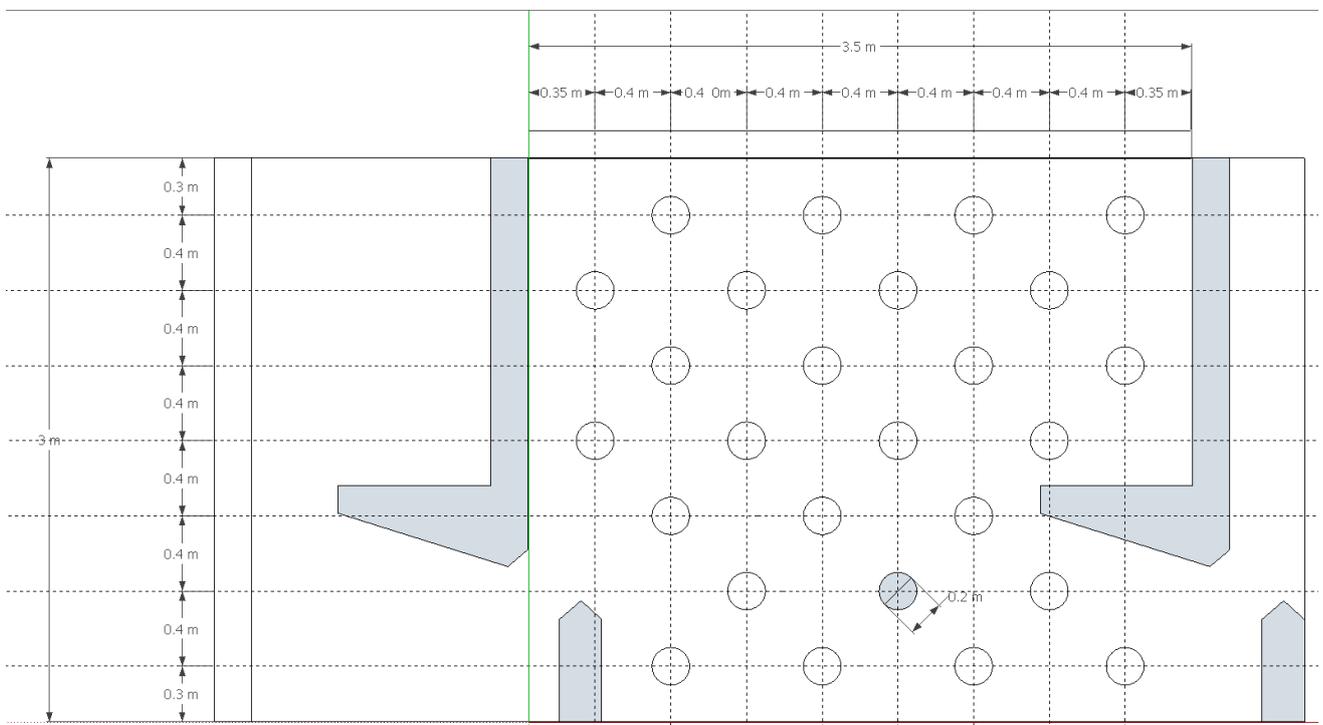


Figure 28 – Macrorugosités sur le radier des bassins des passes

L'ANNEXE 2 détaille le calcul des lignes d'eau de la passe pour différentes conditions limites amont et aval.

Les chutes entre bassins évolueront entre 4 cm et 21 cm (valeur nominale 20 cm).

Les taux de dissipation volumique dans les bassins seront inférieurs ou égaux à 125 W/m<sup>3</sup>.

Les bajoyers de la passe devront au minimum présenter une revanche de 30 cm par rapport aux niveaux d'eau maximaux au sein de la passe.

La passe étant repliée sur elle-même, elle comprendra deux bassins de retournement. Ces derniers seront conçus de manière à avoir une longueur de bassin (soit 3,5 m) en aval de la fente amont avant d'entamer le virage à 180°. Le bajoyer central sera prolongé d'une longueur de 3 m par rapport au déflecteur de la fente amont.

Les angles du bassin seront chanfreinés comme indiqué sur le schéma ci-après.

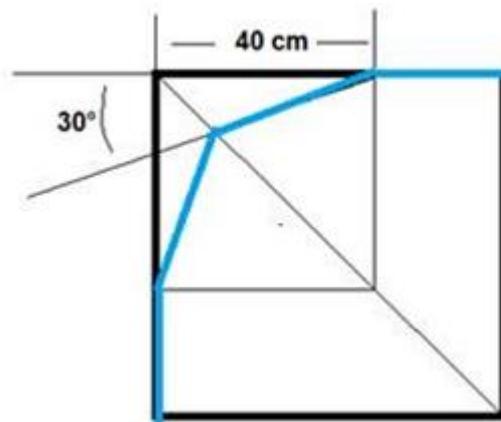


Figure 29 – Chanfreinage des angles dans les bassins de retournement

#### 4.4.3.6 Injection du débit d'attrait rive gauche

En rive gauche, le débit d'attrait est délivré par une station de pompage composée de 6 pompes indépendantes de 2,3 m<sup>3</sup>/s chacune.

La station pompera un débit constant de 13,8 m<sup>3</sup>/s.

#### 4.4.3.7 Délivrance et répartition du débit d'attrait rive gauche

Comme sur la rive droite, le débit d'attrait est fractionné.

Un débit de 2,3 m<sup>3</sup>/s sera injecté dans le dernier bassin aval de la passe au travers d'une petite grille fine (espacement interbarreaux de 20 mm).

Le reste du débit (11,5 m<sup>3</sup>/s) sera injecté dans le bassin de répartition, en aval de la passe, au travers d'une grande grille fine (espacement interbarreaux de 20 mm).

Les caractéristiques des grilles de la rive droite pourront être reprises.

Les vitesses d'injection du débit d'attrait seront donc les mêmes que sur la rive droite.

Les débits d'attrait seront uniformisés par des rangées d'UPN (caractéristiques identiques à celles de la rive droite) avant injection au travers des grilles.

#### 4.4.3.8 Passe à bassins rive gauche

Les poissons en provenance de la rive gauche doivent être ramenés au local de vidéo-comptage en rive droite.

Cela nécessite de fractionner l'élévation pour y insérer un transfert rive gauche-rive droite.

Ainsi l'équivalent de la passe rive droite se composera :

- D'une passe rive gauche de 26 bassins et 27 chutes ;
- D'un canal de transfert passant devant l'usine ;
- D'une passe de transfert, située en rive droite, de 2 bassins et 3 chutes.

La passe rive gauche sera identique à la passe rive droite par ses caractéristiques globales.

Toutefois, le dernier bassin (n°64') mesurera 7 m de long.

La géométrie de la passe et le calcul de la ligne d'eau est présenté en ANNEXE 3.

Le niveau d'eau en amont de la passe rive gauche sera de 165,40 NN.

Par sécurité, une vanne carrée (50 cm x 50 cm) sera installée dans la cloison amont de la passe rive gauche. Son ouverture sera réglable de façon à pouvoir, le cas échéant, compenser une perte de charge trop importante dans le canal de transfert rive gauche-rive droite.

#### 4.4.3.9 Canal de transfert rive gauche-rive droite

Ce canal permet aux poissons en provenance de la rive gauche de regagner le local vidéo en rive droite.

En raison des sujétions génie civil et de la présence des déchargeurs centraux de l'usine, la géométrie retenue pour le canal est la suivante :

- Longueur : 280 m (85 m en rive gauche, 130 m devant l'usine, 75 m en rive droite) ;
- Largeur : 1,8 m en berge et 1,9 m devant l'usine ; les transitions de largeur sont progressives ;
- Radier : 164 NN puis 163.6 NN à chaque extrémité.

Il est muni des mêmes macrorugosités que le canal de la sortie piscicole. (Cf. 4.4.3.16.4).

La vitesse d'écoulement dans le chenal est la suivante :

	Débit	Cote eau	Hauteur d'eau	Largeur	Vitesse
Devant l'usine	1.2 m <sup>3</sup> /s	165.40 NN	1.40 m	1.90 m	45 cm/s
Ailleurs	1.2 m <sup>3</sup> /s	165.40 NN	1.80 m	1.80 m	37 cm/s

Le canal étant très lisse (Strickler = 80 m<sup>1/3</sup>.s<sup>-1</sup> ; macrorugosités de fond négligées), la pente de la ligne d'énergie est estimée à 4,8.10<sup>-5</sup>.

Pour un canal de 280 m de long, la perte de charge linéaire est négligeable (1cm).

Le canal de liaison présentera 4 coudes profilés proches de 120°.

On estime à 0,11 le coefficient de perte de charge d'un tel coude (R/D=3).

La perte de charge singulière est alors de  $4 \times 0,11 \times 0,4^2/2/9,81 = 0,3$  cm.

La perte de charge totale est donc 1,3 cm. Elle pourra être négligée.

#### 4.4.3.10 Passe à bassins de transfert

En rive droite, une passe de transfert complètera l'élévation de la passe rive gauche pour aboutir à une élévation totale équivalente à celle de la passe rive droite.

La passe de transfert se composera de 2 bassins et 3 chutes.

Elle sera identique à la passe rive droite par ses caractéristiques globales.

Les seuils des 3 fentes seront respectivement cotées à 163,70, 163,90, 164,10 NN.

La géométrie de la passe et le calcul de la ligne d'eau est présenté en ANNEXE 4.

Pour le débit nominal de 1,2 m<sup>3</sup>/s, le niveau d'eau en amont de la passe de transfert sera de 166 NN.

#### 4.4.3.11 Local de vidéo-comptage

La station de comptage est positionnée sur le trajet des poissons en provenance de la passe à bassins rive droite et du canal de liaison.

La station comprendra deux canaux de comptage, chacun alimenté par 1,2 m<sup>3</sup>/s. Un sera dans le prolongement de la passe rive droite, l'autre dans le prolongement de la passe de transfert. Ces deux canaux se rejoindront en amont du local de comptage.

Le local de comptage sera installé en position centrale entre les deux canaux. Des fenêtres de comptage munies de vitres de 1,20 m de large et 2 m de haut permettront de voir les poissons en migration. Sur chaque canal, une vitre de rétroéclairage sera positionnée de façon opposée à la vitre de visualisation. Elle aura pour dimensions 1,40 m de large et 2 m de haut. Elle donnera sur un petit local dans lequel seront installés les éclairages (panneaux de néons).

La section du canal sera diminuée devant la vitre de comptage. La largeur sera de 50 cm afin d'obtenir une vitesse d'écoulement de l'ordre de 1,2 m/s-1,3 m/s évitant la stagnation des poissons devant la vitre.

Débit	Cote eau	Hauteur d'eau	Largeur	Vitesse
1.1 m <sup>3</sup> /s	165.90 NN	1.70 m	0.50 m	1.29 m/s
1.2 m <sup>3</sup> /s	166.05 NN	1.85 m	0.50 m	1.30 m/s
1.3 m <sup>3</sup> /s	166.20 NN	2.00 m	0.50 m	1.30 m/s

XXX

6

XXX

Cette zone sera également couverte d'une tôle pour éviter les rayons du soleil qui peuvent générer des reflets parasites.

Les vitres devront être en verre pour éviter les rayures.

La distance entre la vitre et la caméra sera d'environ 2 m.

Un système automatisé de nettoyage des vitres devra être prévu.

Le radier du canal devra être légèrement plus haut (20-30 cm) devant la vitre de comptage pour éviter les stagnations de sables mais également pour diriger les poissons de fond vers le haut afin d'améliorer le comptage.

Le rétro-éclairage sera constitué par des panneaux de néons qui pourront être verticaux (taille des néons : 1,80 m) mais installés sur des rails facilitant leur remplacement.

<sup>6</sup> J. DARTIGUELONGUE, « Guide pour la conception d'une station de vidéocontrôle dans une passe à poissons. L'expérience française : critères, matériels et pratiques », FAO, 2020

Il sera nécessaire de coller un film dépoli derrière la vitre d'éclairage et il est préconisé de peindre le local d'éclairage en blanc. Il est également préconisé de peindre le local de comptage pour éviter les poussières de béton.

Les locaux de comptage et d'éclairage devront être ventilés.

Les brosses de nettoyage des vitres devront être nettoyées après le passage d'une crue pour limiter les risques de rayure.

Aucun local de visite ne sera envisagé pour le public.

Afin de permettre un entretien manuel des vitres, chaque canal de comptage pourra être bâtarde et vidangé (vidange de fond). Une vannette de liaison entre les bassins situés sur les deux branches en aval du batardeau de la station vidéo permettra de délivrer un petit débit dans la branche « coupée » pour éviter l'échouage des poissons dans cette dernière. En dehors des périodes de maintenance, cette vanne sera fermée.

L'adaptation du débit au niveau du local video sera assurée par la régulation de la vanne de délivrance du débit complémentaire.

Des macrorugosités de fond identiques à celles des bassins des passes seront implantées en amont et en aval des canaux de comptage, et ce jusqu'au niveau du nez amont du local.

Entre le nez amont du local et le canal de liaison amont, dans la zone d'injection du débit complémentaire, des macrorugosités de fond identiques à celles des canaux (cf. 4.4.3.2) seront positionnées.



Figure 30 – macrorugosités de fond au local de comptage de Kembs

La géométrie du nez du local est conçue pour permettre une évolution continue de la vitesse d'écoulement.

Un ensemble de modélisations numériques avec les équations de Navier Stokes moyennées (RANS) et avec un schéma en volumes finis de fluide (VOF) a été conduit pour vérifier une répartition homogène des débits entre les deux canaux en aval du local vidéo mais aussi de converger vers un design efficace pour la délivrance du débit complémentaire (cf 4.4.3.12).

Les hypothèses retenues pour ces modélisations sont :

Débit d'entrée imposé à  $1.2 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  pour chaque injection, soit  $2.4 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  au total au droit du local vidéo.

La cote aval est imposée au droit de la première fente du bassin à l'aval du local vidéo. La cote retenue est 165.98 NN.

Les macrorugosités n'ont pas été modélisées dans ce modèle. Ces macrorugosités devraient diminuer les vitesses localement au fond..

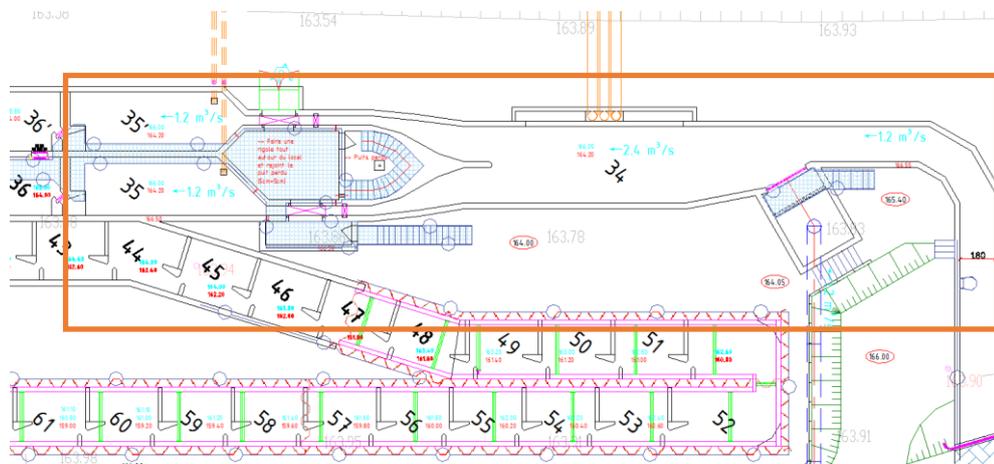


Figure 31 : Vue en plan du design retenu rectangle orange montre le domaine de modélisation 3D

Le débit en rive droite est en moyenne de  $1,21 \text{ m}^3/\text{s}$  et en rive gauche de  $1,19 \text{ m}^3/\text{s}$ ..

Sans surprise, une recirculation en rive gauche existe à l'aval de l'injection de débit complémentaire. Les vitesses au sein de cette recirculation sont inférieures à  $0,3 \text{ m/s}$ . Les effets de cette recirculation s'estompent avant d'atteindre le nez amont du local vidéo. En dehors de cette région particulière, l'ensemble des lignes de courant sont régulières avec des vitesses maximales autour de  $0,6 \text{ m/s}$ . Une zone de recirculation secondaire intermittente existe de manière périodique au droit du nez du local vidéo.

Le débit injecté par le canal issu de la sortie piscicole est très majoritairement dirigé en rive droite et celui injecté par le côté est lui très largement entonné en rive gauche. Les gradients de vitesses sont faibles avec une accélération maximum au droit du local vidéo et dans les fentes.

La vitesse moyenne au droit du local vidéo est vérifiée par la simulation numérique entre  $1.2$  et  $1.3 \text{ m/s}$  pour les deux branches.

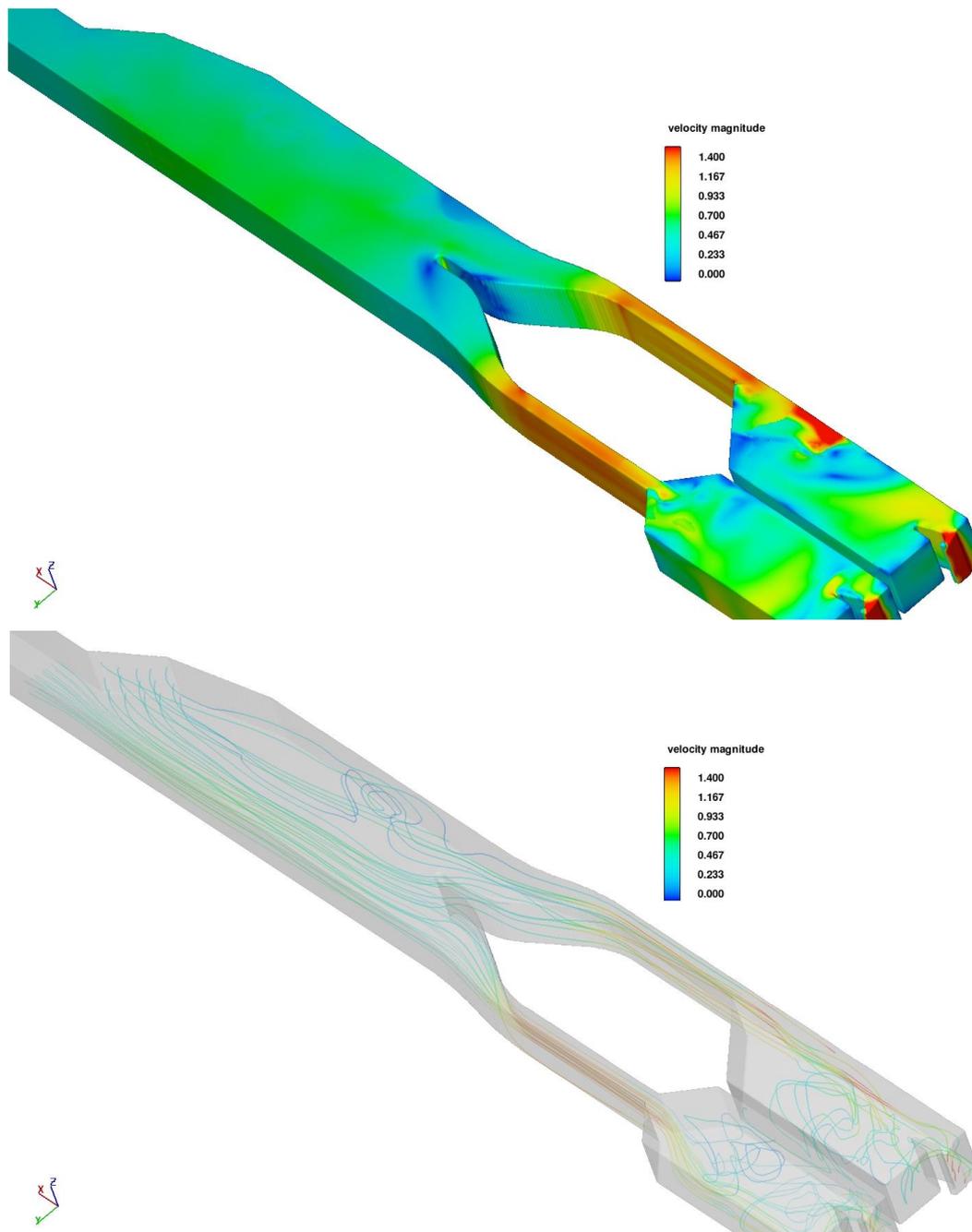


Figure 10 : Vue des vitesses d'écoulement (vue haut) et des lignes de courants (vue en bas )

En conclusion, la répartition des vitesses permet un bon guidage des migrateurs.

#### 4.4.3.12 Délivrance du débit complémentaire

Afin de pouvoir alimenter les deux branches du local vidéo, il est nécessaire d'ajouter un débit complémentaire au débit en provenance de la passe amont.

Ce débit sera délivré gravitairement par un piquage sur la conduite forcée de la microcentrale de turbinage du débit d'attrait.

Son énergie sera dissipée par une vanne asservie au niveau d'eau à l'amont du local vidéo.

L'injection du débit complémentaire se fera entre le local vidéo et le canal de liaison.

La conduite d'alimentation sortira verticalement du radier et son extrémité sera chapeautée.

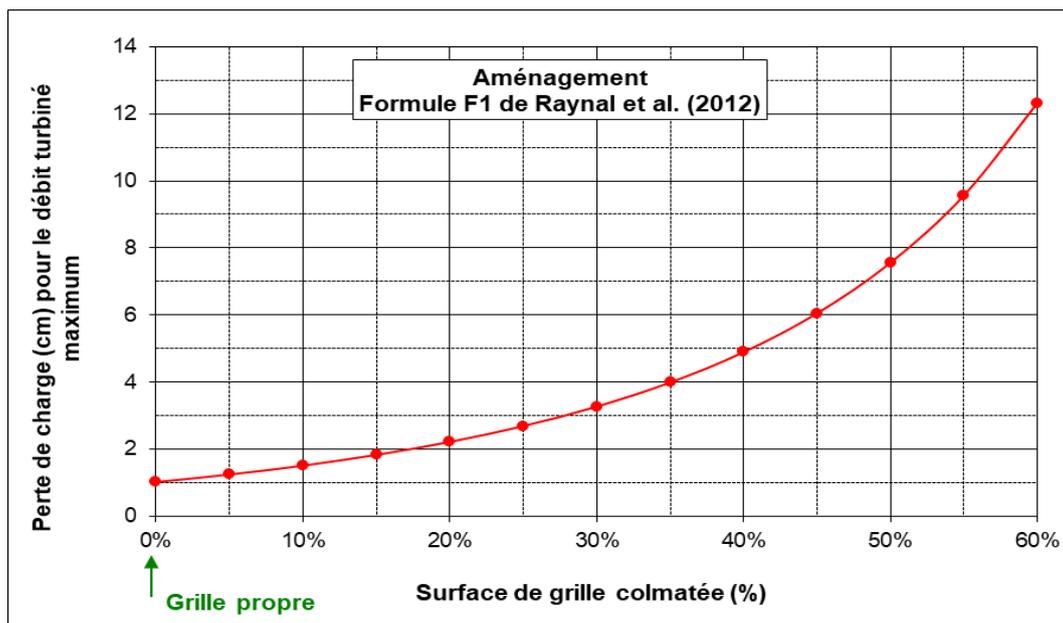
L'écoulement sera ensuite tranquilisé par une rangée d'UPN identiques à ceux utilisés pour les débits d'attrait, puis injecté au travers d'un plan de grilles fines (espacement interbarreaux 20 mm ; largeur 2,3 m).

Le pied de grille sera calé à 164.20 NN.

La grille comportera une partie fixe de 20 cm de haut. Au-dessus une partie mobile (retournable, par panneaux, pour assurer le nettoyage) s'étendra de la cote 164.20 à la cote 166,20 NN minimum.

Afin de garantir une vitesse d'injection inférieure à 35 cm/s, même si la partie fixe est totalement colmatée, la grille mesurera de l'ordre de 2 m de large.

En fonction du taux de colmatage de la grille, la perte de charge à sa traversée est donnée par le graphique ci-après.



La perte de charge à la traversée des UPN est la suivante :

	Largeur 3 m
Débit	1.2 m <sup>3</sup> /s
Niveau	166.05 NN
Hauteur	1.85 m
Nb pertuis	29
Vpertuis	0.45 m/s
Perte	0.8 cm

Le niveau de l'eau au débouché de la conduite sera donc de  $166,05 + 0,02 + 0,008 \sim 166,08$  NN. L'ensemble de modélisations avec l'outil VOF présenté au paragraphe 4.4.3.10, a permis de converger vers le design permettant la montaison..

#### 4.4.3.13 Canal de liaison amont-aval

Le canal de liaison mesure 280 m de long et 1,8 m de large.

Sa section est rectangulaire et son radier évolue entre les cotes 164,55 NN et 164,2 NN (soit une pente de l'ordre de 1‰).

Il comportera deux coudes segmentés à 90° et une station de capture.

Ses parois seront en béton lisse.

Des macrorugosités de fond permettront la progression des espèces de fond (cf. Figure 54).

La cote de l'eau en aval de la passe amont est déterminée par le niveau d'eau en amont de la passe rive droite augmenté de l'ensemble des pertes de charge dues :

- Au passage du local de vidéo-comptage (5 cm) ;
- Aux coudes du canal de liaison amont (~0,5 cm) ;
- Aux pertes de charge linéaires du canal de liaison amont (~1,5 cm) ;
- Au passage de la station de capture (5 cm).

La perte de charge totale est donc d'environ 12 cm que nous arrondirons à 15 cm pour tenir compte de pertes négligées comme celles dues à l'injection du débit complémentaire ou des macrorugosités de fond.

Le débit étant fixe et égale à 2,4 m<sup>3</sup>/s à l'amont immédiat du local vidéo, la cote sera également fixe et égale à 166,05 NN, en dehors des périodes de maintenance du local.

Le niveau d'eau à l'aval immédiat de la passe amont sera donc de  $166 + 0,15 = 166,15$  NN.

Les vitesses d'écoulement en fonction des débits sont les suivantes :

Débit amont	Largeur canal	Amont canal			Aval canal		
		Cote de l'eau	Cote radier	Vitesse	Cote de l'eau	Cote radier	Vitesse
1.0 m <sup>3</sup> /s	1.80 m	166.15 NN	164.55 NN	35 cm/s	166.05 NN	164.20 NN	30 cm/s
1.2 m <sup>3</sup> /s	1.80 m	166.15 NN	164.55 NN	42 cm/s	166.05 NN	164.20 NN	36 cm/s
1.4 m <sup>3</sup> /s	1.80 m	166.15 NN	164.55 NN	49 cm/s	166.05 NN	164.20 NN	42 cm/s

On constate qu'elles sont comprises entre 30 et 50 cm/s.

Dans la partie amont du canal, les bajoyers seront cotés à 166,50 NN. Puis environ 20 m en aval de la station de capture, ils seront cotés à 166,40 NN jusqu'au local vidéo.

Un déversoir de sécurité sera inséré en rive droite du canal en partie terminale. Son seuil sera coté à 166,2 NN et pour une largeur de 8 m, il pourra débiter 1,46 m<sup>3</sup>/s sous 25 cm de charge (Formule de déversoir latéral de Dominguez, 1945).

#### 4.4.3.14 Station de capture

##### Principe – gestion des périodes de piégeage

La station de capture sera située environ à mi-longueur du canal de liaison entre la station de vidéo-comptage et la volée de bassins amont. Elle sera ponctuellement utilisée pour piéger des poissons en vue de la réalisation de suivis biologiques.

Son principe est celui de l'ascenseur à poissons : elle se compose d'un piège de type « nasse anti-retour » intégré à une cage, installé sur le radier du canal de liaison, que l'on peut translater verticalement. La partie inférieure de la cage est constituée d'une cuve pleine permettant la remontée des poissons piégés en eau.

Le dimensionnement du système de capture poursuit plusieurs objectifs :

- le dispositif ne doit pas causer de blessures aux poissons piégés. Les arêtes vives et zones susceptibles de provoquer des coincements doivent être supprimées. Les transferts de poissons vers la stabulation ou pour retourner dans la passe après marquage doivent être rapides et sans dommage. Le dimensionnement est réalisé en tenant compte des retours d'expérience (REX) des nasses installées en France et en particulier celles de Gamsheim et d'Iffezheim (où une nouvelle nasse optimisée en ce sens a été récemment installée) ;
- le volume de stabulation disponible dans la nasse doit être prévu de telle sorte à ce que le stress des poissons soit limité (également susceptible de causer des blessures). En ce sens, des zones de repos peuvent également être proposées aux poissons ;
- le système doit permettre une mise en œuvre et un entretien facilités pour les opérateurs (remontée de la cuve / vidange dans un bassin / retour dans la passe après marquage / nettoyage) ;
- le risque de colmatage total de la cuve par des débris doit être pris en compte pour éviter tout risque de débordement et de baisse de débit à l'aval du système ;
- l'efficacité de piégeage doit être si possible améliorée sur la base des REX des autres dispositifs en service.

Directement en lien avec le dimensionnement de la cage, le fonctionnement retenu pour les opérations de piégeage sera identique à celui pratiqué par l'Association Saumon Rhin (ASR) à Gamsheim :

- opérations de piégeage menées en marge des pics migratoires pour éviter la capture d'un nombre de poissons trop important posant des problématiques de blessures/stress et de gestion pour les opérateurs ;
- arrêt des opérations de piégeage sur la base d'un nombre maximal de poissons piégés par jour (plusieurs dizaines). En effet, comme pour celui de Gamsheim, le piège de Rhinau ne sera relevé qu'une fois par jour et remis ou non en service en fonction de la quantité de poissons piégés.

### Calage altitudinal – Raccordement au terrain naturel

Le calage altitudinal doit permettre à l'ensemble du processus de capture/stabulation/relâche de se dérouler gravitairement depuis le déversement des poissons en position haute de la cage dans la goulotte les amenant dans le bassin de stabulation jusqu'à leur retour dans la passe. Le principe est le même que pour le dispositif de Gamsheim (photo ci-dessous).



**Figure 32 - Piège à poissons de Gamsheim**

Comme pour Gamsheim, le bassin de stabulation sera positionné à environ 3 m du canal de liaison, face à la superstructure de la cage. La goulotte de vidange (noire sur la photo) aura donc une longueur d'environ 5 m dont 1 m en débord au-dessus du canal et 4 m entre le haut du mur bayer (166,5 NN) et le bas du bassin de stabulation.

Avec 10% de pente sur la goulotte, on obtient donc un fond de bassin de stabulation à 166,90 NN. Le TN dans cette zone étant à 164,40 NN, le bassin de stabulation sera donc posé sur une superstructure de 2,5 m de haut.

Ce bassin a une hauteur de 1,2 m. La goulotte de déversement des poissons depuis la cage en position haute (longueur 3 m ; pente 10%) sera posée sur le bord du bassin (168,10 NN). Il est donc nécessaire que le bas de la cage de capture (vanne de vidange) atteigne la cote de 168,40 NN.

Compte-tenu de la hauteur de la cage (1,8 m) et des organes mécaniques de relevage (à définir), la superstructure du dispositif de piégeage atteindra donc une cote de 170,4-171 NN, soit 6 à 6,5 m au-dessus du terrain naturel.

### Dimensionnement du piège

Le piège est composé (cf. schéma ci-après) d'une cage barreaudée (rose) incluant une porte d'accès, d'un goulet anti-retour (vert foncé) permettant de piéger le poisson, d'une cuve inférieure

pleine et vidangeable (grise), d'un prolongement pour le repos du poisson (bleu) et d'une face amont mobile (vert clair) pouvant être levée indépendamment du reste du système.

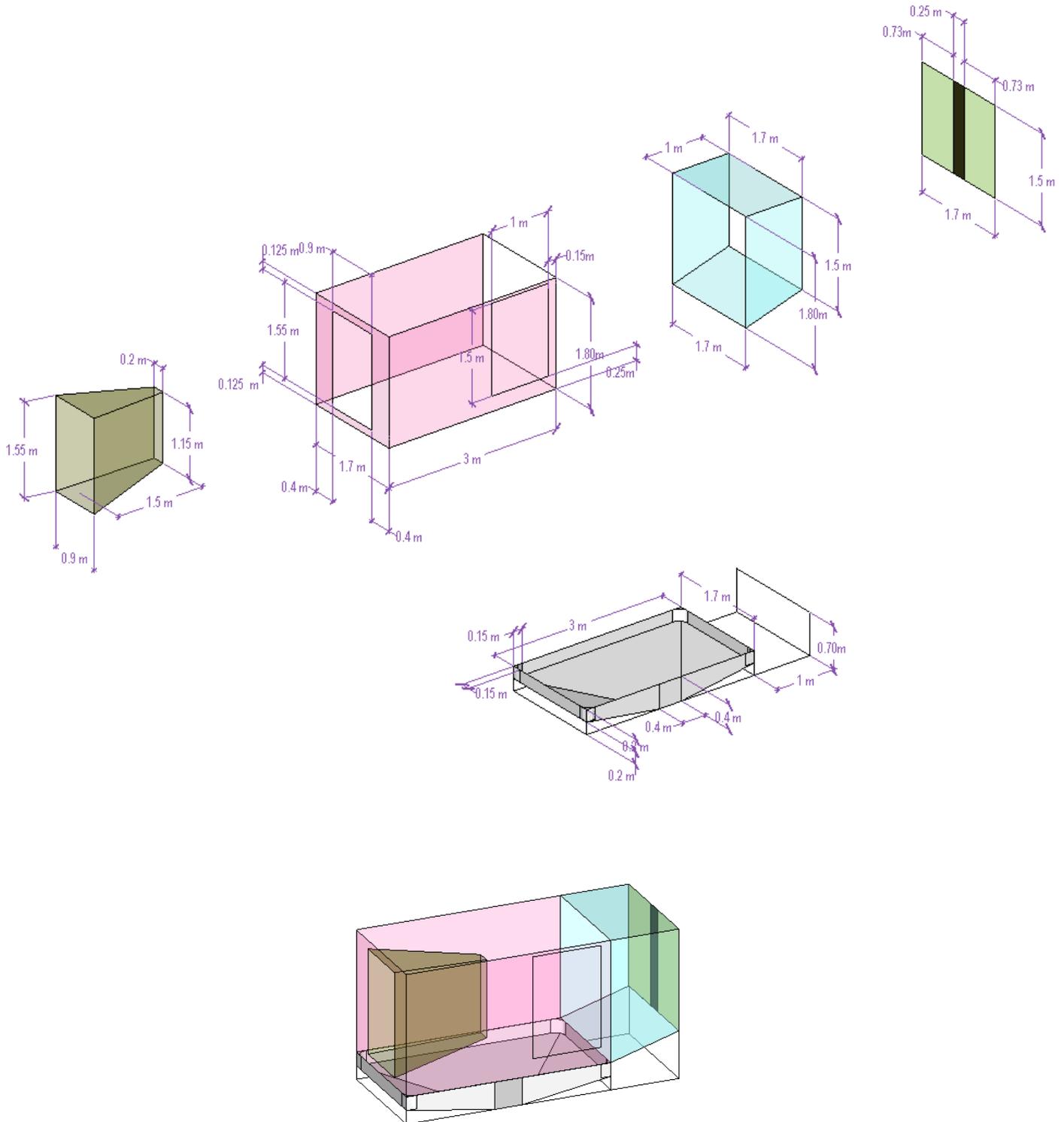


Figure 33 - Eléments et dimensions de la nasse de capture

Au niveau de la station de capture, le radier du canal sera coté à 164,4 NN. La hauteur d'eau et la vitesse d'écoulement seront de :

Débit	Cote eau	Cote radier	Hauteur d'eau	Vitesse d'écoulement
1.0 m <sup>3</sup> /s	166.15 NN	164.40 NN	1.75 m	32 cm/s
1.2 m <sup>3</sup> /s	166.15 NN	164.40 NN	1.75 m	38 cm/s
1.4 m <sup>3</sup> /s	166.15 NN	164.40 NN	1.75 m	44 cm/s

Les dimensions des différents éléments du piège sont cotées sur les schémas ci-avant.

#### Volumes de stabulation :

- **En situation de piégeage** : le volume d'eau disponible pour les poissons est d'environ 12.8 m<sup>3</sup> (volume cuve = 1.43 m<sup>3</sup> + volume cage = 8.67 m<sup>3</sup> + volume prolongement amont ≈ 2.7 m<sup>3</sup> [sans prise en compte du volume perdu par le goulet anti-retour]). Le critère habituellement retenu pour les volumes de piégeage est de 15l/kg de poisson (Larinier *et al.* 1994). Le poids moyen des poissons habituellement piégés durant les pics printaniers est d'environ 1.5kg (sur la base des opérations de piégeage pour les suivis par télémétrie et pour les 4 espèces représentant l'essentiel de la biomasse : brème/barbeau = 1.5 kg ; hotu = 0.7 kg ; aspe = 1.1 kg). Les dimensions choisies pour le dispositif de capture sont donc adaptées (570 poissons maximum) ;
- **En fin de montée de la cuve** : lorsque tous les poissons capturés sont contenus dans la cuve, les poissons disposent temporairement d'un volume de 1.43 m<sup>3</sup>. Le critère habituellement retenu pour les cuves est de 6l/kg de poissons. Le même raisonnement donne un nombre maximal de poissons piégés d'environ 160 poissons.

La quantité journalière de poissons non dépassée 90% du temps à Gamsheim est de 264, 365, 101, 80, 110, 50, 72 et 40 individus respectivement de 2006 à 2013.

Compte-tenu du fonctionnement prévu par ASR, analogue à celui de Gamsheim (arrêt du piégeage en pic migratoire), les volumes prévus sont donc compatibles avec une capture des poissons limitant le stress et les blessures.

#### Le goulet anti-retour

L'espacement interbarreaux sera de 25 mm. La fente amont du goulet anti-retour aura une largeur de 20 cm. Cette largeur a été choisie au regard du REX des pièges installés en France (Golfech, Baigts, Poutès, Gamsheim, Iffezheim). Le retour d'expérience sur les nasses d'ascenseur en France montre qu'une ouverture sur une grande partie de la hauteur de la cage est préférable pour obtenir une bonne efficacité de capture (nasse de Baigts par exemple). Ici, la hauteur de l'ouverture est de 1,15 m (sur une hauteur d'eau de 1,7 m). Le REX montre également que le goulet anti-retour doit être suffisamment allongé pour éviter que les poissons ressortent (des goulets trop courts sur de nombreux sites comme Iffezheim ont entraîné la mise en place de filets pour prolonger l'entonnement vers l'amont). Un débouché de l'entonnement à mi-nasse (1,5 m) comme à Gamsheim semble bien plus favorable à une bonne efficacité de capture

Les barreaux du goulet anti-retour seront horizontaux.

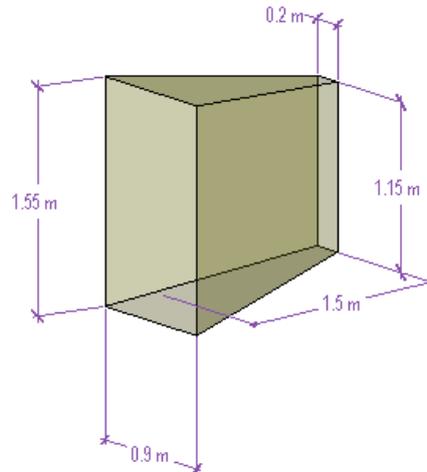


Figure 34 - Structure du goulet anti-retour

*La cage*

L'espacement interbarreaux sera de 25 mm.

Les barreaux seront verticaux.

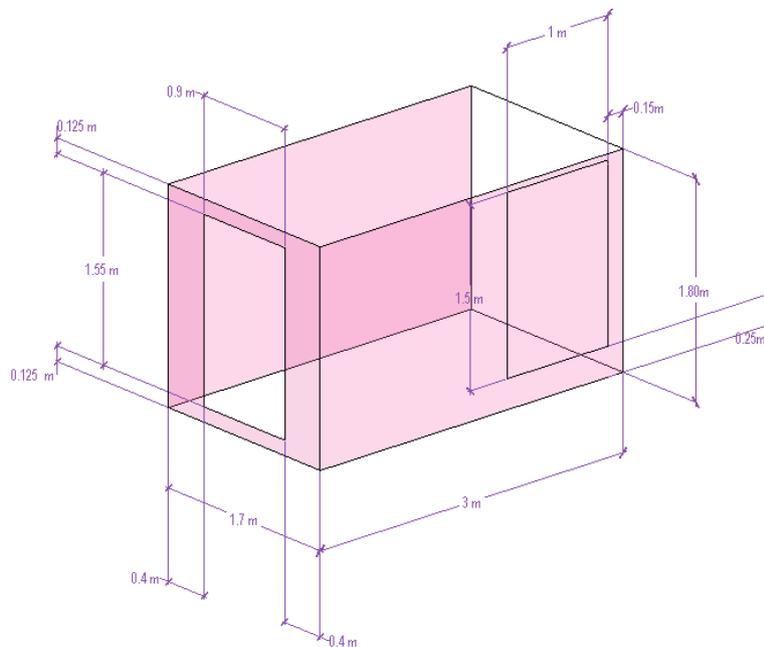


Figure 35 - Structure de la cage

Elle sera munie d'une portière latérale permettant l'accès pour l'entretien et le guidage manuel de certains gros poissons potentiellement piégés (silures).

La face supérieure de la cage ne sera pas totalement obturée par une partie plane et rigide pour éviter les échouages de poissons sautant depuis l'aval. Elle sera recouverte d'un filet souple à mailles fines recouvrant la moitié de sa surface, sur la partie amont. Celui-ci sera plus souple au niveau central et au contraire plus tendu sur la partie amont, de telle sorte à ce que des poissons ayant sauté depuis l'aval de la nasse puisse retomber dans celle-ci. Ce système est employé par ASR à Gamsheim (photo ci-dessous).



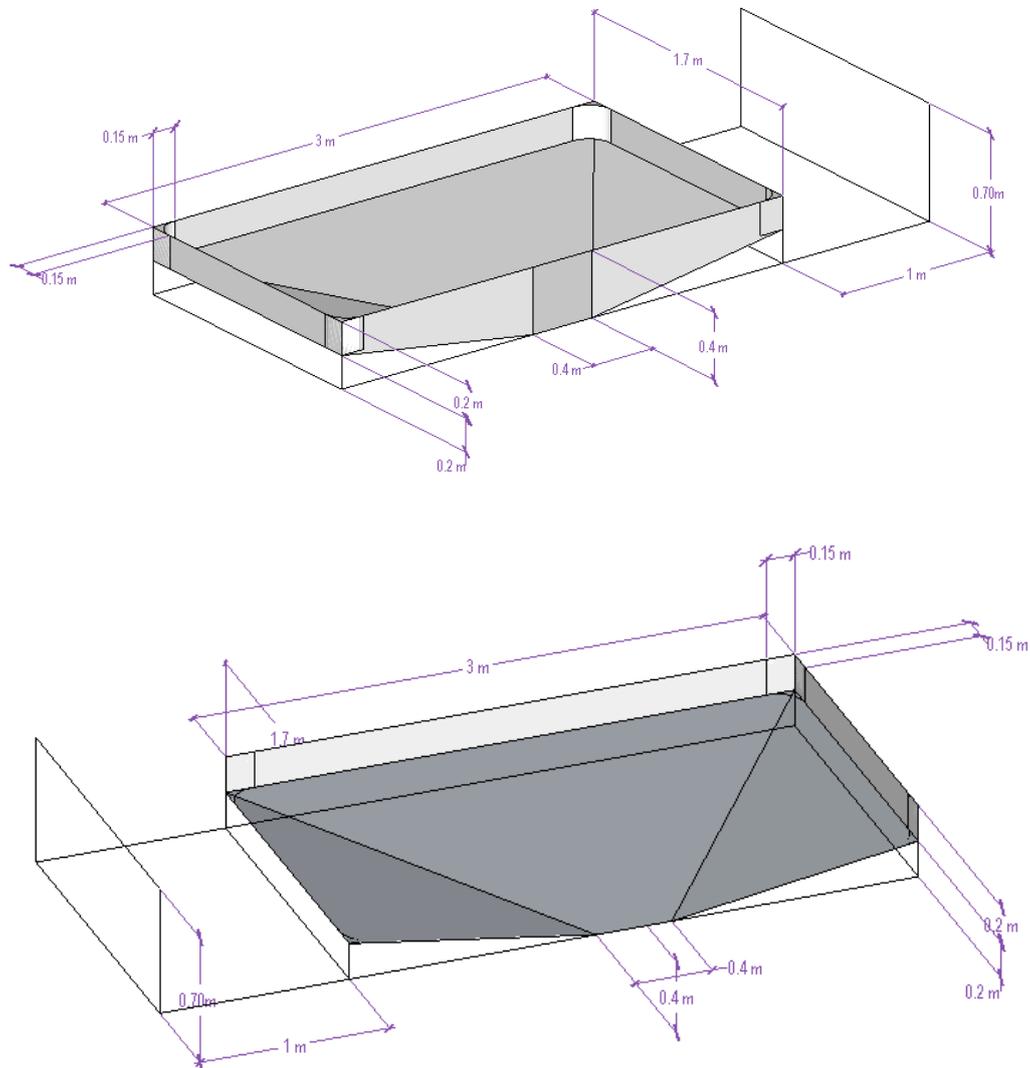
Figure 36 – Gamsheim : couverture de la partie supérieure de la cage

### *La cuve*

Ses coins seront arrondis et sa forme pentaédrique permettra un guidage facilité des poissons vers la vanne de vidange. Les pentes du fond latérales (15,4%) et faces à la vanne (11,8%) permettront d'éviter tout risque d'exondation lors de la vidange de la cuve. L'orifice de vidange sera de forme carrée et de dimensions 0,4 x 0,4 m.

Elle sera vidangée latéralement par une vanne guillotine. La manœuvre et le guidage de la vanne guillotine feront l'objet de soins pour éviter toute disposition contondante pour le poisson.

Une structure métallique complètera la forme pentaédrique du fond de cuve pour retrouver une assise rectangulaire. Un support amont permettra de soutenir la zone de repos.



**Figure 37 - Structure de la cuve**

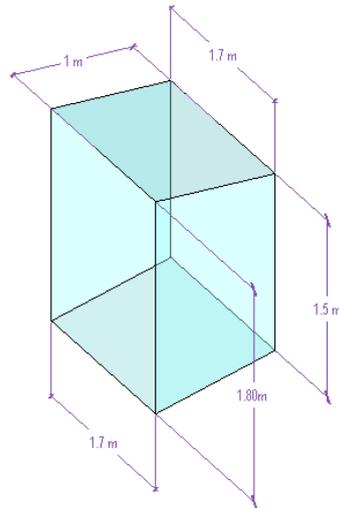
### *La zone de repos*

Cette zone sera un prolongement amont de la cage. Elle permettra essentiellement d'allonger la cage pour compenser l'emprise du goulet anti-retour.

Sa face inférieure sera inclinée pour permettre le guidage des poissons vers la cuve en phase de vidange.

L'espacement interbarreaux sera de 25 mm.

Les barreaux seront verticaux.



**Figure 38 - Structure de la zone de repos**

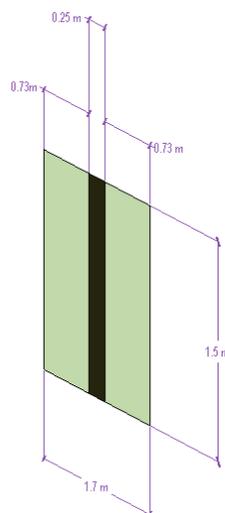
*La face amont*

Cette face sera munie de barreaux verticaux.

L'espacement interbarreaux sera de 25 mm.

Une plaque pleine centrale de 25 cm de large permettra d'offrir une ombre hydraulique aux poissons piégés restant dans la colonne d'eau.

Cette face amont pourra être relevée indépendamment du reste du système pour libérer des poissons piégés que l'on ne souhaiterait pas récupérer. Ces derniers pourront poursuivre leur chemin dans le canal de liaison en amont du piège.



**Figure 39 - Structure de la face amont**

Afin de limiter la distance entre le goulet anti-retour et le radier et de fournir un abri hydraulique aux poissons piégés, la cuve de la cage s'insèrera dans une réservation de 40 cm de profondeur dans le radier. Cette dernière mesurera 1,8 m de large, soit la largeur du canal et 4 m dans le sens amont-aval.

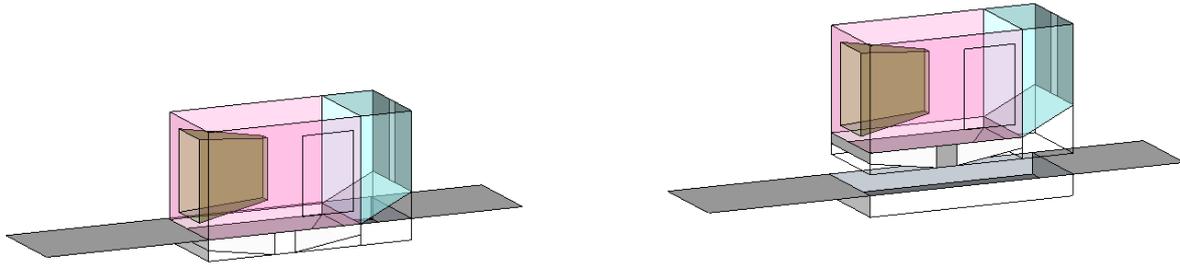


Figure 40 – Insertion de la nasse dans le radier

Pour éviter les coincements de poissons entre les murs bajoyers (largeur 1.8 m) et la cage (largeur 1.7 m + superstructure/guides), il sera nécessaire de mettre en place deux rangées de petites brosses de part et d'autre de la cage (photo Golfech ci-dessous).



Figure 41 – Brosses de protection

### Dimensionnement de la goulotte de sortie vers le bassin de stabulation

Une goulotte en U (largeur 40 cm, hauteur voiles latéraux 40 cm ; rayon de courbure de 20 cm) ou un tuyau de diamètre  $\varnothing 40$  cm sera prévu pour le déversement des poissons dans le bassin de stabulation depuis la cage de capture.

La pente de cette goulotte/tuyau sera de 10% et l'adduction d'un débit complémentaire pour faciliter le transfert des poissons devra être prévue (déclenchement au moment de la vidange, débit de 3 à 3,5 l/s)

Le raccordement entre la cuve et la partie circulaire pourra se faire au moyen d'une pièce spécifique de type « carré-rond » (Exemple de St Cricq ci-dessous).



Figure 42 – St Cricq – goulotte de restitution

### Dimensionnement du bassin de stabulation, manipulation des poissons et vidange

Le bassin de stabulation aura des dimensions similaires à celui de Gamsheim (3 m de diamètre et 1,2 m de hauteur). Avec une hauteur d'eau de 1 m, celui-ci a donc un volume d'eau maximal d'un peu plus de 7 m<sup>3</sup> d'eau, ce qui est parfaitement compatible avec les critères de stabulation compte-tenu du fonctionnement du piège (environ 300 poissons d'1,5 kg – le piègeage serait alors interrompu avec une telle activité migratoire).

Lors de la vidange de la cuve (volume d'eau = 1,43 m<sup>3</sup>), le bassin devra avoir été préalablement rempli à 50% pour assurer la réception des poissons sans causer de dommages. Une alimentation en eau du bassin dont le débit sera de l'ordre d'une dizaine de m<sup>3</sup>/h devra être prévue (limitation des temps de remplissage).

Un dispositif de trop plein pour régler le niveau d'eau dans le bassin devra être prévu. Le principe est celui des bassins d'aquaculture, à savoir une canne articulée se déversant dans un caniveau.



Figure 43 – Vidange du bassin de stabulation (principe)

Pour faciliter la manipulation des poissons (concentration), le bassin sera muni d'un jeu de grilles rotatives. Les préconisations reprennent en partie celles ayant été émises pour le projet de passe à bassins mobiles. Le bassin est équipé d'un pivot central réalisé en tube inox de 50 mm de diamètre. Ce tube inamovible sera le point de rotation central des grilles de concentration. Il sera prévu un jeu de grilles réalisées en barreaux d'aluminium de 16 mm espacées de 30 mm sur un cadre en tubes aluminium carrés 40 x 40 mm. Les grilles devront être équipées de brosses sur les parties latérales et inférieures pour éviter tout coincement de poisson.



Figure 44 –Grilles rotatives de tri

Le retour des poissons dans la passe sera réalisé en vidangeant le bassin au moyen d'une vanne. A l'aval de cette vanne, le bassin sera raccordé à un tuyau en tube PEHD de 400 mm de diamètre. Il faudra bien veiller à ce que la connexion entre le bassin et le dispositif de vidange corresponde au point bas du bassin pour faciliter la sortie des poissons. A Gombsheim, cet aspect s'est avéré problématique pour la sortie des poissons (présence d'une petite marche). Par ailleurs, une pente de fond de bassin de l'ordre de 2 à 2,5% dirigée vers le dispositif de vidange pourra être mise en place pour faciliter le glissement des poissons vers la sortie du bassin en fin de vidange.

#### Dispositions en cas de colmatage partiel ou total de la nasse par des débris

Bien que la conception de l'entrée hydraulique de l'ouvrage de migration limite les risques d'entraînement de débris (masque de surface + grilles grossières), un colmatage partiel de la nasse de capture est toujours possible.

Il conduirait à une augmentation de la perte de charge à la traversée de la nasse et à une hausse du niveau d'eau en amont de celle-ci.

Tant que le colmatage est partiel, l'élévation est limitée et l'alimentation en eau de l'aval de la nasse continue à être assurée.

Dans le cas d'un colmatage total, il sera toujours possible de soulever la cage pour que l'eau puisse s'écouler librement dans le canal de liaison.

Dans le cas très hypothétique, d'un colmatage total de la cage de capture sans possibilité d'intervention (relevage), il est nécessaire de veiller à ce qu'au moins une partie du débit puisse transiter vers l'aval de manière à conserver un tirant d'eau résiduel suffisant pour les poissons. Le restant du débit peut être évacué par un déversoir latéral de sécurité situé à l'amont de la cage pour éviter un débordement de la passe au-dessus des murs bajoyers. Ce déversoir latéral de sécurité évacue les débits directement sur un coursier en béton vers le canal éclusier.

Pour dimensionner ce déversoir, nous considérons le débit maximal pouvant transiter dans l'ouvrage, soit 1,93 m<sup>3</sup>/s.

La cage de l'ascenseur, bloquée en position basse et totalement colmatée, se comportera comme un déversoir épais de largeur 1,8 m et de cote 164,40 + 1,8 = 166,20 NN.

Pour des bajoyers du canal de liaison cotés à 166,50 NN, nous accepterons que le niveau d'eau atteigne 166,45 NN.

Dans ce cas, 379 l/s pourront déverser par-dessus la cage.

Le déversoir latéral de sécurité devra donc pouvoir évacuer  $1,93 - 0,379 = 1,551$  m<sup>3</sup>/s sous une cote d'eau de 166,45 NN.

La formule de Dominguez permet de proposer le dimensionnement suivant :

- Longueur 12 m ;
- Seuil 166,25 NN ;
- Coefficient de débit 0,33.

Compte-tenu du débit maximal entonné dans la passe, les dispositions prévues permettent donc d'éviter l'exondation des poissons dans le canal de transfert et d'éviter un débordement par-dessus les murs bajoyers.

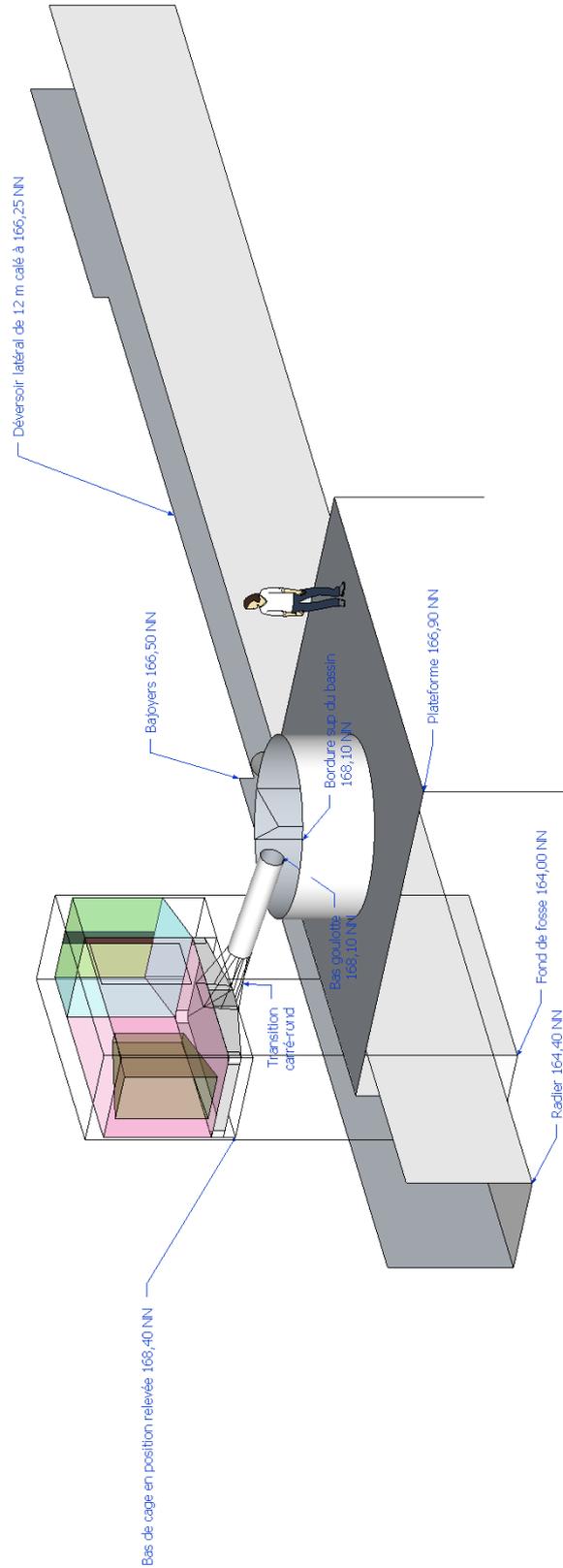


Figure 45 – Vue d'ensemble station de capture

#### 4.4.3.15 Passe à bassins amont

Comme vu dans le paragraphe sur l'alimentation en eau de l'ouvrage, la cote du radier au niveau de la première fente sera fixée à 171 NN.

En amont, le radier rejoindra progressivement la cote du radier du canal d'amenée à 171,3 NN.

En aval, les cotes des points bas des fentes suivantes se déduiront par translation de -20 cm.

Afin d'exploiter au mieux les possibilités du terrain naturel, la passe sera composée de 33 bassins et 34 chutes. Le radier sera continu.

La géométrie du premier bassin est la suivante :

- Radier :
  - cote amont 171 NN,
  - cote médiane  $171 - 0,2/2 = 170,9$  NN,
  - cote aval =  $171 - 0,2 = 170,8$  NN ;
- Longueur du bassin : 3,5 m ;
- Largeur du bassin : 3 m ;
- Pente = 5,7% (0,2 m / 3,5 m) ;
- Profondeurs moyennes : 1,5 m pour 1 m<sup>3</sup>/s, 1,8 m pour 1,2 m<sup>3</sup>/s, 2,1 m pour 1,4 m<sup>3</sup>/s ;
- Taux de dissipation volumique : autour de 125 W/m<sup>3</sup>.

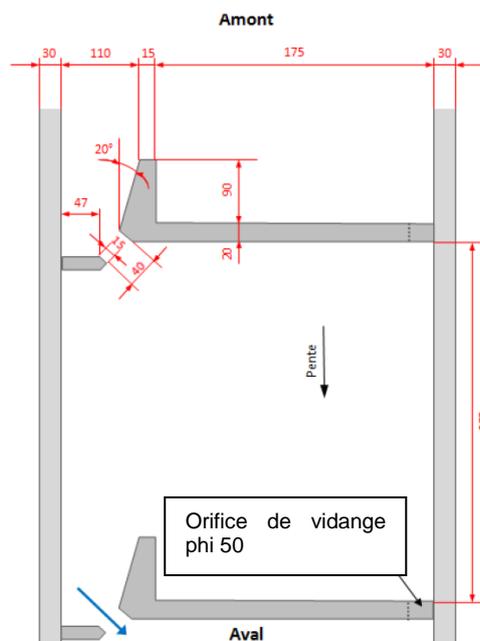


Figure 46 – Dimensions des bassins des passes à poissons

Les cloisons seront munies de fentes de 0,4 m de large et de 2,3 m de haut ; le reste de la cloison formera un seuil déversant de  $1,75 + 0,47 = 2,22$  m de large situé à 2,3 m au-dessus du radier.

Un orifice circulaire phi 50 sera ménagé près du radier dans la cloison afin de permettre la vidange total du bassin lors des opérations de maintenance (notamment la partie située derrière le déflecteur de la fente).

Les bajoyers seront positionnés 30 cm au-dessus du niveau d'eau maximal.

En amont du bassin 1, le bajoyer du canal de liaison amont ne doit pas être inférieur au niveau maximal du canal d'amenée de l'usine.

En aval du bassin 33, le bajoyer sera celui du canal de liaison. Dans sa partie amont il sera coté à 166,7 NN.

Les radiers seront munis de rugosités semblables à celles de la passe rive droite (cf. 4.4.3.5).

L'ANNEXE 1 présente les lignes d'eau au sein de la passe à bassins amont.

#### 4.4.3.16 Canal de la sortie piscicole

Le canal de la sortie piscicole constitue la liaison entre la passe à bassins amont et le canal d'amenée de l'usine. Il constitue l'entrée hydraulique de l'ouvrage.

Il se compose :

- D'une prise d'eau ;
- d'une grille grossière ;
- d'une vanne de condamnation ;
- d'un canal de liaison avec passage souterrain ;
- d'un virage à 90°.

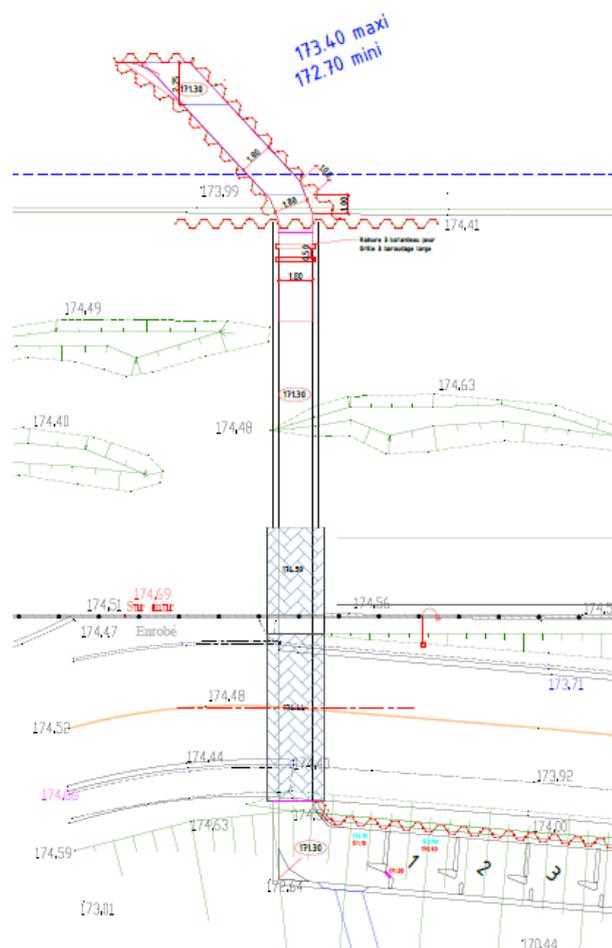


Figure 47 – Vues 3D en amont, élévation et plan du design retenu de la sortie piscicole

##### 4.4.3.16.1 Prise d'eau

La sortie piscicole doit satisfaire à plusieurs critères à la fois hydrauliques et biologiques :

- Elle doit permettre l'entonnement du débit d'alimentation de la passe amont tout en respectant les critères de vitesse permettant aux poissons de regagner le canal d'amenée de l'usine ;
- Elle doit être fonctionnelle sur toute la gamme de niveaux amont ;
- Elle doit limiter l'entonnement de corps flottants.

La sortie piscicole ne constitue pas une section de contrôle du débit.

Elle doit toutefois être conçue de façon à limiter la perte de charge entre le canal d'amenée de l'usine et la fente amont de la passe amont.

Les vitesses d'écoulement le long des berges du canal d'amenée étant assez élevées quand l'usine turbine au maximum, nous profiterons de l'effet de guidage des corps flottants en proposant une prise protégée par un masque de surface inclus dans le plan du talus du canal.

La sortie piscicole sera implantée environ 175 m en amont de l'usine de façon à se situer nettement en dehors de la zone de recirculation des corps flottants.

Le canal de liaison de l'ouvrage de migration viendra inciser le talus de la rive droite du canal d'amenée en formant un angle de 45° avec ce dernier.

Ce canal rectangulaire, de largeur 1,8 m, aura un radier horizontal coté à 171,3 NN.

Un masque « fin » sera positionné au niveau de l'échancrure créée, dans le plan du talus, entre les cotes 172,2 et 174 NN.

En amont du masque, le bajoyer du canal sera adouci en une forme « gauche » de raccordement avec les talus (partie rouge sur le schéma ci-après).

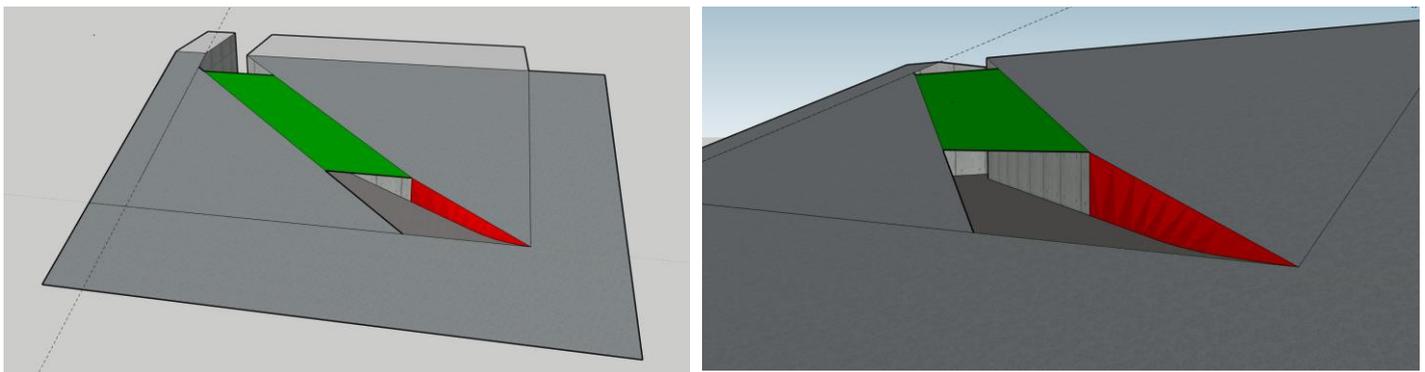


Figure 48 – Schéma de principe de la sortie piscicole

Afin de redevenir perpendiculaire à l'axe du canal d'amenée, le canal de liaison présentera un coude profilé à 45°.

Des modélisations numériques 3D (VOF) ont été conduites afin de vérifier que le fonctionnement de cette prise d'eau est bien compatible avec les éléments mentionnés au paragraphe précédent concernant le guidage des poissons et les corps flottants.

Les hypothèses constitutives des modèles 3D VOF sont :

- Le débit dans le canal usinier est de 1500 m<sup>3</sup>/s afin de d'obtenir des vitesses majorantes par rapport aux configurations nominales de l'aménagement.
- Le niveau à l'usine est de 172,50 NN. De même, il s'agit de modéliser une situation pénalisante par rapport à celles réellement connues par l'ouvrage.
- Le débit soutiré à la sortie piscicole est de 1,2 m<sup>3</sup>/s.

Les modélisations VOF réalisées montrent qu'un vortex intermittent se forme à l'entonnement. Ce vortex est dû à la marche formée par l'entonnement, la présence du masque et le changement de direction nécessaire pour alimenter le canal. Cette zone de forte vorticité est rapidement amortie dans l'écoulement à surface libre puisque l'écoulement est contrôlé par l'aval dans ce canal dont l'amont est la sortie piscicole (Figure 52).

Au droit du masque des vitesses sont inférieures à 1.4 m/s avec une large majorité de ces vitesses comprises entre 0,4 m/s et 0,7 m/s. (cf Figure 49)

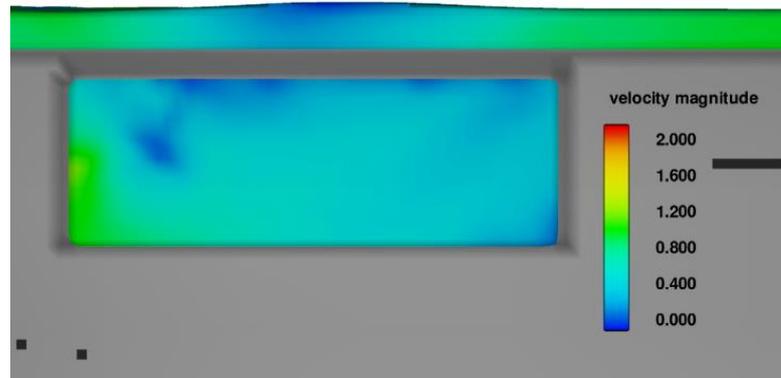


Figure 49 : Coupe verticale du champ de vitesse à l'amont immédiat du masque

Les vitesses sont homogènes immédiatement après l'entonnement dans le canal à surface libre avec une valeur proche de 0,5 m/s (cf Figure 51).

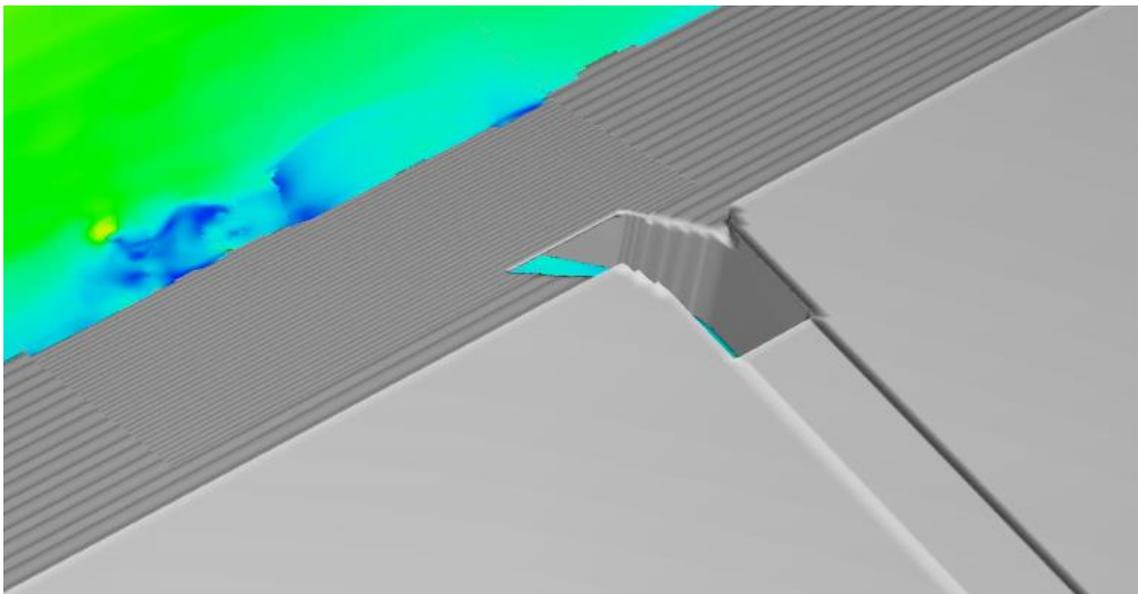


Figure 50 : Vue en perspective de la prise d'eau avec la géométrie. Les figures suivantes montrent les écoulements à l'intérieur de la prise d'eau avec cette même perspective.

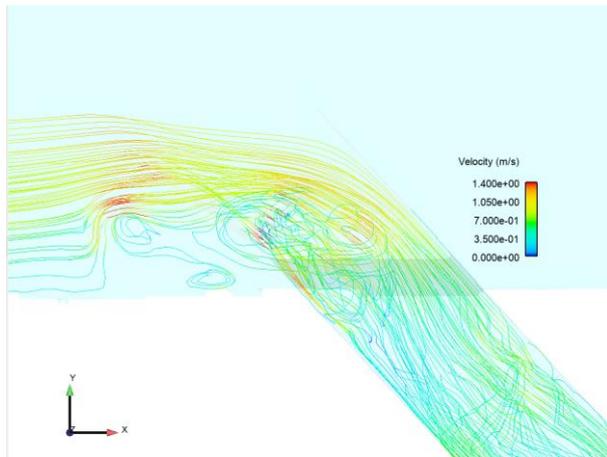


Figure 51 : Vue des lignes d'écoulement à l'entonnement de la sortie piscicole

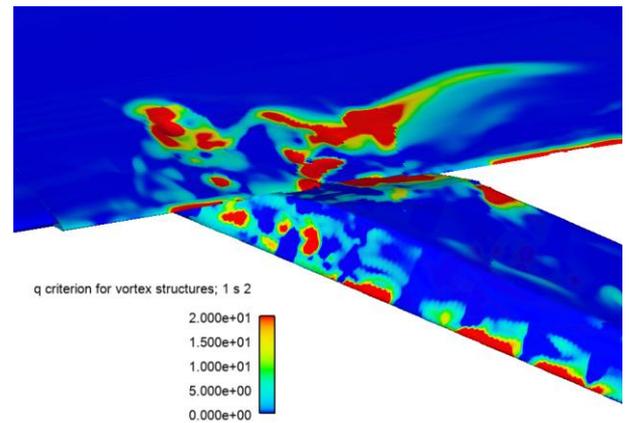


Figure 52 : Vue des zones de vortacité à l'entonnement de la sortie piscicole

Ces vortex apparaissent pour la modélisation de configurations d'écoulements avec des vitesses majorantes et un niveau minorant dans le canal. Ils induisent une fluctuation de vitesse à l'amont de l'entonnement du canal piscicole.

Les vitesses transversales au-dessus du masque sont de l'ordre de 1 m/s, ce qui permet d'évacuer les éventuels corps flottants vers l'aval

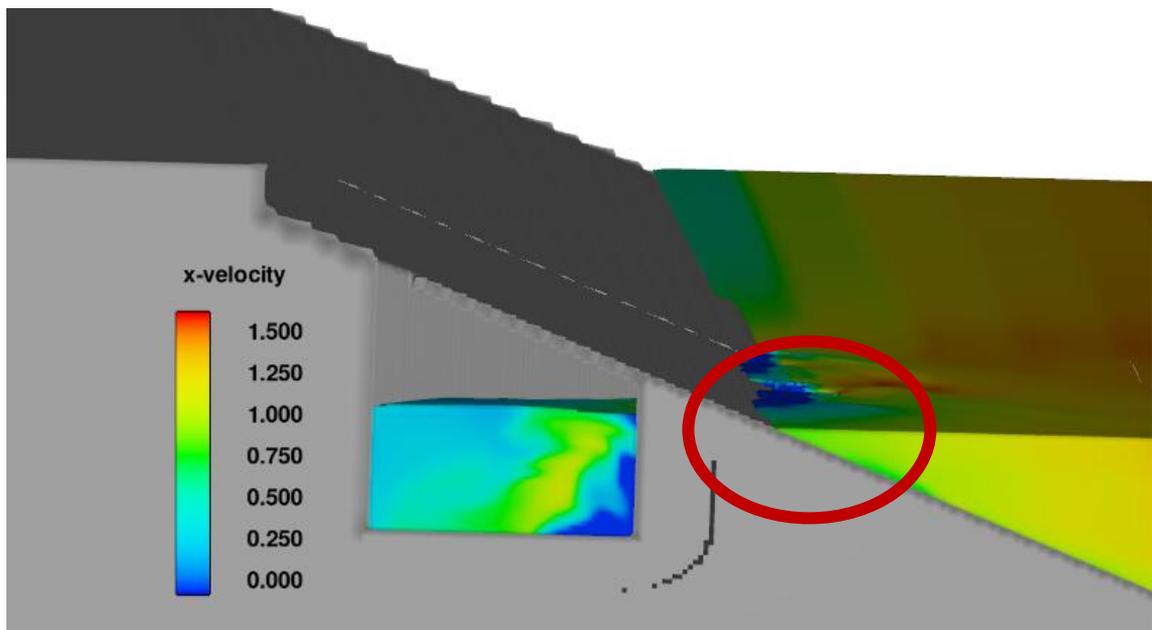


Figure 53 : Vue en coupe des vitesses selon l'axe du canal au droit du masque (Dans le cercle rouge)

Dans les cas d'exploitations majoritaires, où le débit et les vitesses moyennes dans le canal usinier seront moins élevés et où la cote à l'usine sera supérieure à 172,50 NN, ces vortex et recirculations associées seront atténués.

#### 4.4.3.16.2 Vanne de condamnation

Une vanne de condamnation permettra d'isoler la passe lorsque le débit du Rhin sera supérieur à 2000 m<sup>3</sup>/s.

Cette vanne sera munie d'une vannette permettant de maintenir un débit de l'ordre de 100 à 200 l/s dans l'ouvrage de migration correspondant à une hauteur de 20-25 cm (comme à Gamsheim).

#### 4.4.3.16.3 Grille grossière

Bien que le masque de surface dévie l'essentiel des corps flottants, une grille grossière (espacement interbarreaux de 30 cm, du radier jusqu'à la cote 174 NN) sera implantée en amont de la vanne grossière pour retenir les débris ayant pu franchir le masque.

Elle sera construite de façon à pouvoir être facilement nettoyée à la main.

Si le besoin se faisait sentir, elle pourrait évoluer vers une structure différente qui permettrait d'intégrer un goulet anti-retour pour que les Silures du canal d'aménée ne puissent pas pénétrer dans la passe (tel que mis en place en sortie du canal de transfert de Golfech sur la Garonne).

#### 4.4.3.16.4 Canal

Un canal d'environ 30 m de long et 1,8 m de large fera la liaison entre le canal d'aménée de l'usine (sortie piscicole) et la première fente de la passe amont.

Le radier de ce canal sera horizontal à la cote 171,30 NN.

Le canal passera sous la route sous une distance de l'ordre de 14 m (radier 171,3 NN et sommet du tunnel 174,14 NN) ce qui ne posera pas de problème de transitions lumineuses brusques potentiellement répulsives pour les poissons.

Il effectuera ensuite un virage à 90° pour s'aligner avec l'axe de la passe. Son radier sera alors légèrement incliné afin de rejoindre le fond de fente à 171 NN.

L'intrados et l'extrados du virage seront munis de pans-coupés afin d'éviter les décollements susceptibles de créer des recirculations pouvant potentiellement perturber les poissons.

Le canal de liaison de la sortie piscicole sera muni de macrorugosités de fond différentes de celles des radiers des passes à bassins.

Ces macrorugosités ont pour but d'offrir des abris hydrauliques aux espèces benthiques et aux anguilles.

Elles seront constituées de cylindre de 20 cm de rayon disposées en alternance rive droite-rive gauche tous les 2 m dans le sens amont-aval.

Elles seront légèrement décollées du bajoyer (10 cm ; cf. Figure 54).

#### 4.4.3.16.5 Pertes de charge linéaires

Le canal est en béton lisse.

Nous retiendrons un coefficient de Strickler de  $80 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Pour les conditions d'écoulement calculées précédemment, la perte de charge linéaire est négligeable (pente de la ligne d'énergie de  $\sim 3 \cdot 10^{-6}$ ).

La prise en compte des macrorugosités n'est pas nécessaire car le profilage des plots (cylindriques) et le très grand espacement entre plots rendent leur influence sur la rugosité négligeable.

La perte de charge linéaire totale est donc négligeable.

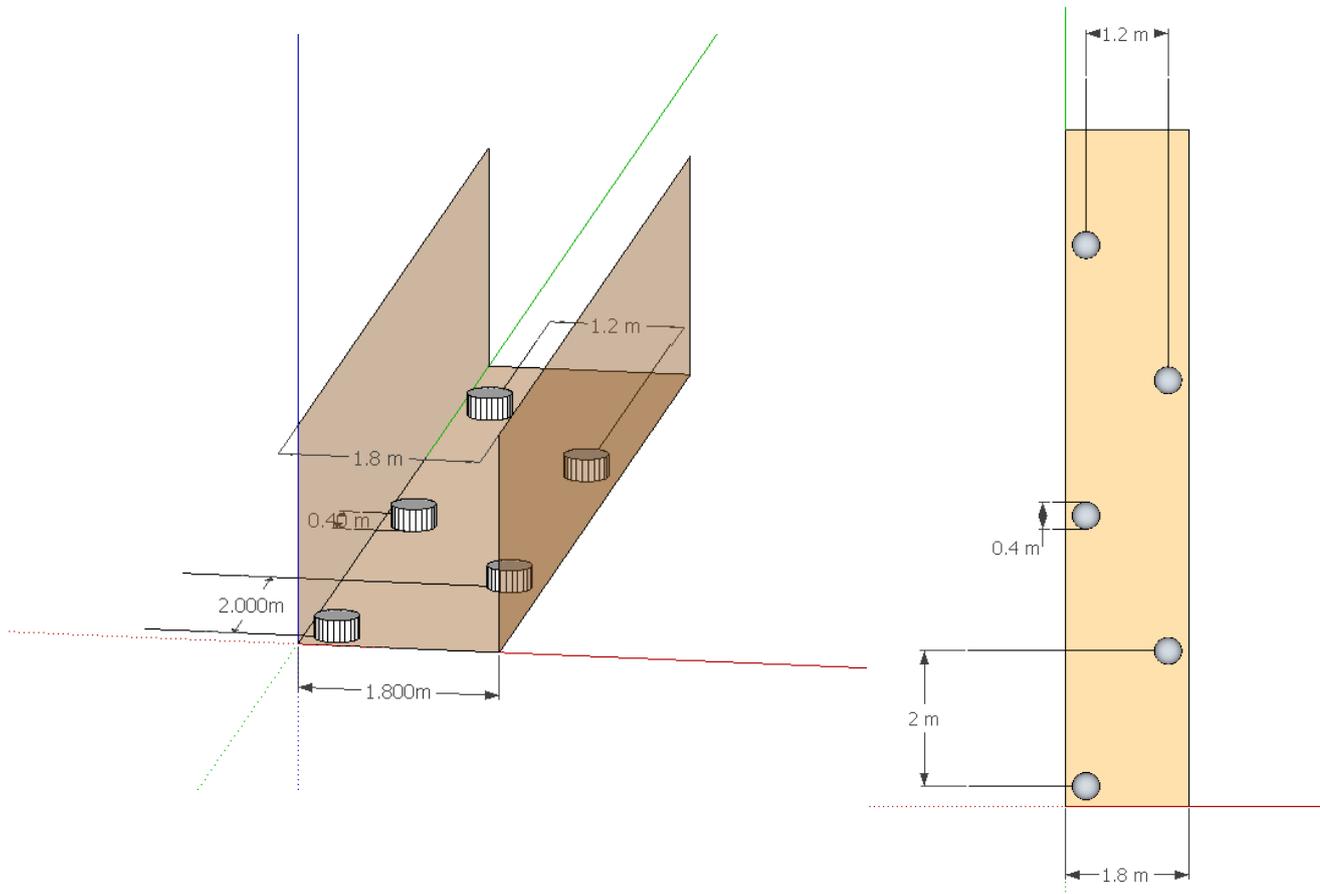


Figure 54 – Macro-roughness du radier du canal de liaison de la sortie piscicole

#### 4.4.3.16.6 Pertes de charge singulières

Les pertes de charge singulières seront causées par la sortie piscicole (notamment le masque et la grille de protection contre les corps flottants) ainsi que les changements de direction à l'intérieur du chenal.

Pour un débit de  $1,2 \text{ m}^3/\text{s}$ , la perte de charge due à l'entonnement, à l'élargissement progressif puis au coude peut être estimée à :

$$(0,5+0,04) \times (1,2/(0,9 \times 1,8))^2/2/9,81 + 0,3 \times (1,2/(1,6 \times 1,8))^2/2/9,81 \sim 2 \text{ cm.}$$

Pour rendre compte de l'effet de phénomènes non pris en compte (notamment hétérogénéité des écoulements sous le masque), nous retiendrons une valeur majorée de 5 cm.

L'estimation de l'évolution de la perte de charge à la grille en fonction du taux de colmatage (évaluation par la formule de Raynal) montre que pour un colmatage de l'ordre de 60 % la perte de charge dans le canal peut atteindre 8 cm.

Valeur de perte de charge (cm)	Grille propre	Grille colmatée											
		0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%
C =	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%
a =	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89
K <sub>0</sub> =	0.26	0.33	0.43	0.54	0.68	0.85	1.07	1.33	1.68	2.12	2.69	3.47	4.53
K <sub>B</sub> =	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ξ =	0.75	0.97	1.23	1.56	1.97	2.46	3.08	3.86	4.85	6.12	7.79	10.02	13.11
V <sub>A,PDG</sub> <sup>2</sup> / 2g =	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
ΔH (cm) =	0.4	0.6	0.7	0.9	1.2	1.5	1.8	2.3	2.9	3.6	4.6	5.9	7.7

En prenant un coefficient de perte de charge singulière pour le coude à 90° en amont de la passe amont, nous obtenons une perte singulière de 0,3 cm pour une vitesse nominale de 42 cm/s.

Au total, la perte de charge singulière varie de 6cm pour une grille propre à 13 cm pour une grille colmatée à 60%.

Nous retiendrons l'ordre de grandeur de 10 cm.

#### 4.4.3.17 Prise d'eau pour le turbinage du débit d'attrait

##### 4.4.3.17.1 Critères d'acceptabilité du design

Les deux critères retenus pour valider le design de la prise d'eau sont :

- Une mise en charge présente dès l'entonnement.
- Une absence de vortex pouvant induire des désordres (Vortex inférieur au type 3 p 26 figure 9.8.23 norme ANSI/HI 9.8-1998).

##### 4.4.3.17.2 Configurations d'écoulement testées

Afin de respecter les contraintes de temps fortes imposées au projet, les configurations testées sont les conditions enveloppes les plus défavorables quant aux conditions de mise en charge et d'apparition du vortex.

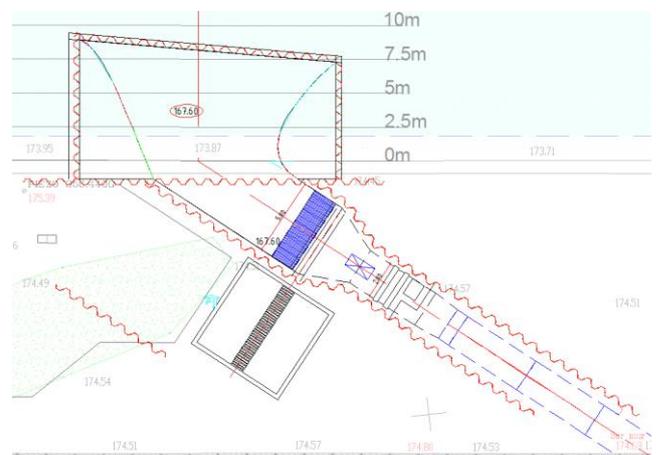
Les hypothèses constitutives des modèles 3D VOF sont :

- Débit dans le canal usinier est de 1500 m<sup>3</sup>/s afin de d'obtenir des vitesses majorantes par rapport aux configurations nominales de l'aménagement.
- Le niveau à l'usine est de 172,50 NN. De même, il s'agit de modéliser une situation pénalisante par rapport à celles réellement connues par l'ouvrage.
- Le débit soutiré à la prise usinière est de 15 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>.

Le design représenté ci-dessous a été testé selon la méthode dédiée à la prédiction du risque de vortex publiée par le CIH.

##### 4.4.3.17.3 Design retenu

La solution retenue est illustrée ci-dessous (Figure 55) :



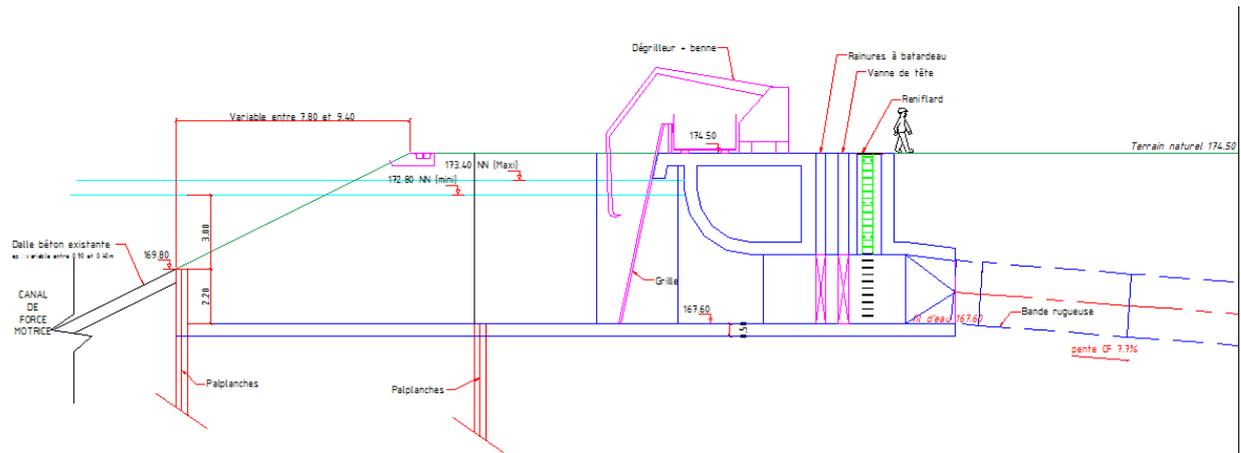


Figure 55 : Vues 3D amont, plan et élévation du design retenu

Les simulations numériques 3D montrent que, pour les configurations enveloppes considérées, les vitesses dans l'intégralité de la zone à surface libre de la prise d'eau sont inférieures à 2.0 m/s (Figure 56).

La vitesse d'approche à la grille est en moyenne de 0.5 m/s pour la cote de 172.50 NN

La mise en charge est bien immédiate au droit de la prise d'eau avec un niveau directement lié au niveau dans le canal. Il existe des vortex (Figure 57) qui se détachent en rive gauche de la prise d'eau. Les points et taches rouges situées à l'entrée de la prise d'eau montrent ces détachements. Des tourbillons existent aussi dans la prise d'eau en amont de la mise en charge. L'ensemble des vortex simulés sont inférieurs au vortex de type 3 (norme ANSI). Ils n'auront pas d'impact significatif sur le fonctionnement de la prise d'eau et des machines situées en aval.

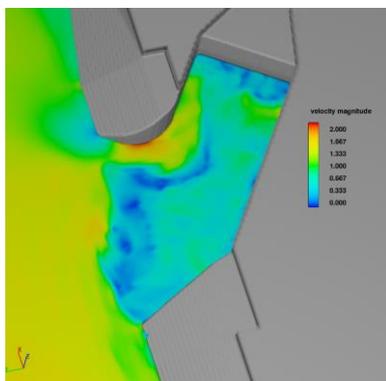


Figure 56 : Vue des vitesses à la prise d'eau usinière (Niveau 172.50 NN)

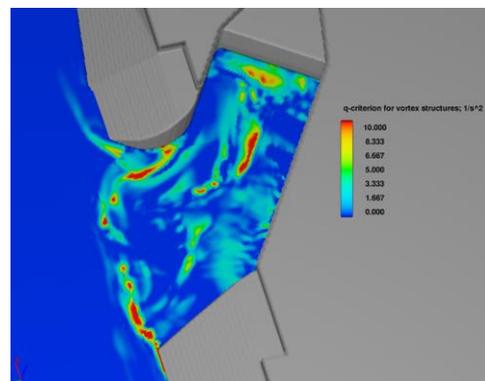


Figure 57 : Vue des critères Q à prise d'eau usinière (Niveau 172.50 NN)

Les cas modélisés ci-dessous sont bien des cas enveloppes représentant des majorants par rapport au risque de vortex (niveaux bas et débit fort dans le canal usinier). D'après les calculs menés, les vortex présents n'auront pas d'impact significatif sur le fonctionnement de l'aménagement.

En conclusion, les modélisations numériques réalisées montrent que le design permet de respecter les critères. Ce design pourrait être encore amélioré en affinant le design de l'entonnement afin d'éviter les décollements en rive gauche de l'entonnement ou d'améliorer l'entonnement en rive droite.

## Bibliographie

ANSI Hy -9.8.1998 American National Standard for Pump intake design

Ballu, A., Calluad, D., Pineau, G., & David, L. (2017). Experimental study of the influence of macro-roughnesses on vertical slot fishway flows. *La Houille Blanche*, (2), 9-14.

Guyot, G; Huber, B; Pittion-Rossillon, A. (2015). Assessment of a numerical method to forecast vortices with a scaled model, IWHS,

Leroy, A., Bourqui, P., Dumond, L., & De Cesare, G. (2018). Physical and 3D Numerical Simulations of the Flow in the Tailrace of a Hydroelectric Power Plant to Design Fishway Entries. In *Advances in Hydroinformatics* (pp. 855-868). Springer, Singapore.

Wang, R. W., David, L., & Larinier, M. (2010). Contribution of experimental fluid mechanics to the design of vertical slot fish passes. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, (396), 02.

# ANNEXES

**ANNEXE 1 – Cassiopée : passe à bassins amont**

Caractéristiques géométriques de Rhinau amont													
	Surf Orif	Mu Orif	Larg. Fent	Mu Fent	Cote dév Fente	Cote Rad amt pa.	Cote Rad mi-bas.	Long Bas.	Larg Bas.	Larg Ech 1	Alpha Ech 1	Béta Ech 1	Cote seuil Ech 1
1	0.000	0.000	0.400	0.800	171.000	171.000				2.200	0.400	0.000	173.300
2	0.000	0.000	0.400	0.800	170.800	170.800	170.900	3.500	3.000	2.200	0.400	0.000	173.100
3	0.000	0.000	0.400	0.800	170.600	170.600	170.700	3.500	3.000	2.200	0.400	0.000	172.900
4	0.000	0.000	0.400	0.800	170.400	170.400	170.500	3.500	3.000	2.200	0.400	0.000	172.700
5	0.000	0.000	0.400	0.800	170.200	170.200	170.300	3.500	3.000	2.200	0.400	0.000	172.500
6	0.000	0.000	0.400	0.800	170.000	170.000	170.100	3.500	3.000	2.200	0.400	0.000	172.300
7	0.000	0.000	0.400	0.800	169.800	169.800	169.900	3.500	3.000	2.200	0.400	0.000	172.100
8	0.000	0.000	0.400	0.800	169.600	169.600	169.700	3.500	3.000	2.200	0.400	0.000	171.900
9	0.000	0.000	0.400	0.800	169.400	169.400	169.500	3.500	3.000	2.200	0.400	0.000	171.700
10	0.000	0.000	0.400	0.800	169.200	169.200	169.300	3.500	3.000	2.200	0.400	0.000	171.500
11	0.000	0.000	0.400	0.800	169.000	169.000	169.100	3.500	3.000	2.200	0.400	0.000	171.300
12	0.000	0.000	0.400	0.800	168.800	168.800	168.900	3.500	3.000	2.200	0.400	0.000	171.100
13	0.000	0.000	0.400	0.800	168.600	168.600	168.700	3.500	3.000	2.200	0.400	0.000	170.900
14	0.000	0.000	0.400	0.800	168.400	168.400	168.500	3.500	3.000	2.200	0.400	0.000	170.700
15	0.000	0.000	0.400	0.800	168.200	168.200	168.300	3.500	3.000	2.200	0.400	0.000	170.500
16	0.000	0.000	0.400	0.800	168.000	168.000	168.100	3.500	3.000	2.200	0.400	0.000	170.300
17	0.000	0.000	0.400	0.800	167.800	167.800	167.900	3.500	3.000	2.200	0.400	0.000	170.100
18	0.000	0.000	0.400	0.800	167.600	167.600	167.700	3.500	3.000	2.200	0.400	0.000	169.900
19	0.000	0.000	0.400	0.800	167.400	167.400	167.500	3.500	3.000	2.200	0.400	0.000	169.700
20	0.000	0.000	0.400	0.800	167.200	167.200	167.300	3.500	3.000	2.200	0.400	0.000	169.500
21	0.000	0.000	0.400	0.800	167.000	167.000	167.100	3.500	3.000	2.200	0.400	0.000	169.300
22	0.000	0.000	0.400	0.800	166.800	166.800	166.900	3.500	3.000	2.200	0.400	0.000	169.100
23	0.000	0.000	0.400	0.800	166.600	166.600	166.700	3.500	3.000	2.200	0.400	0.000	168.900
24	0.000	0.000	0.400	0.800	166.400	166.400	166.500	3.500	3.000	2.200	0.400	0.000	168.700
25	0.000	0.000	0.400	0.800	166.200	166.200	166.300	3.500	3.000	2.200	0.400	0.000	168.500
26	0.000	0.000	0.400	0.800	166.000	166.000	166.100	3.500	3.000	2.200	0.400	0.000	168.300
27	0.000	0.000	0.400	0.800	165.800	165.800	165.900	3.500	3.000	2.200	0.400	0.000	168.100
28	0.000	0.000	0.400	0.800	165.600	165.600	165.700	3.500	3.000	2.200	0.400	0.000	168.900
29	0.000	0.000	0.400	0.800	165.400	165.400	165.500	3.500	3.000	2.200	0.400	0.000	167.700
30	0.000	0.000	0.400	0.800	165.200	165.200	165.300	3.500	3.000	2.200	0.400	0.000	167.500
31	0.000	0.000	0.400	0.800	165.000	165.000	165.100	3.500	3.000	2.200	0.400	0.000	167.300
32	0.000	0.000	0.400	0.800	164.800	164.800	164.900	3.500	3.000	2.200	0.400	0.000	167.100
33	0.000	0.000	0.400	0.800	164.600	164.600	164.700	3.500	3.000	2.200	0.400	0.000	166.900
34	0.000	0.000	0.400	0.800	164.400	164.400	164.500	3.500	3.000	2.200	0.400	0.000	166.700
Vanne :	Sans												

Paramètres de fonctionnement : MINI										
	Niveau d'eau	P/v (W/m3)	Tmoy (m)	Vit. Débitante	Cote radier mi-bassin	Débit d'Attrait	Cloison N°	Chute (m)	Cote radier amont paroi	Débit (m3/s)
Amt	172.340									
1	172.140	127	1.240	0.228	170.900	0.000	1	0.200	171.000	0.849
2	171.940	127	1.240	0.228	170.700	0.000	2	0.200	170.800	0.849
3	171.740	127	1.240	0.228	170.500	0.000	3	0.200	170.600	0.849
4	171.540	127	1.240	0.228	170.300	0.000	4	0.200	170.400	0.849
5	171.340	127	1.240	0.228	170.100	0.000	5	0.200	170.200	0.849
6	171.140	127	1.240	0.228	169.900	0.000	6	0.200	170.000	0.849
7	170.940	127	1.241	0.228	169.700	0.000	7	0.200	169.800	0.849
8	170.740	127	1.241	0.228	169.500	0.000	8	0.200	169.600	0.849
9	170.540	127	1.241	0.228	169.300	0.000	9	0.200	169.400	0.849
10	170.340	127	1.242	0.228	169.100	0.000	10	0.200	169.200	0.849
11	170.140	127	1.242	0.228	168.900	0.000	11	0.199	169.000	0.849
12	169.940	127	1.243	0.228	168.700	0.000	12	0.199	168.800	0.849
13	169.740	126	1.244	0.228	168.500	0.000	13	0.199	168.600	0.849
14	169.550	126	1.246	0.227	168.300	0.000	14	0.199	168.400	0.849
15	169.350	126	1.247	0.227	168.100	0.000	15	0.198	168.200	0.849
16	169.150	125	1.250	0.227	167.900	0.000	16	0.198	168.000	0.849
17	168.950	124	1.252	0.226	167.700	0.000	17	0.197	167.800	0.849
18	168.760	124	1.256	0.225	167.500	0.000	18	0.196	167.600	0.849
19	168.560	122	1.261	0.225	167.300	0.000	19	0.195	167.400	0.849
20	168.370	121	1.267	0.223	167.100	0.000	20	0.194	167.200	0.849
21	168.170	119	1.274	0.222	166.900	0.000	21	0.192	167.000	0.849
22	167.980	117	1.284	0.220	166.700	0.000	22	0.190	166.800	0.849
23	167.800	114	1.297	0.218	166.500	0.000	23	0.187	166.600	0.849
24	167.610	111	1.313	0.216	166.300	0.000	24	0.184	166.400	0.849
25	167.430	106	1.333	0.212	166.100	0.000	25	0.180	166.200	0.849
26	167.260	102	1.359	0.208	165.900	0.000	26	0.175	166.000	0.849
27	167.090	96	1.390	0.204	165.700	0.000	27	0.169	165.800	0.849
28	166.930	89	1.428	0.198	165.500	0.000	28	0.162	165.600	0.849
29	166.770	82	1.474	0.192	165.300	0.000	29	0.154	165.400	0.849
30	166.630	75	1.529	0.185	165.100	0.000	30	0.145	165.200	0.849
31	166.490	67	1.594	0.178	164.900	0.000	31	0.135	165.000	0.849
32	166.370	59	1.669	0.170	164.700	0.000	32	0.125	164.800	0.849
33	166.250	51	1.754	0.161	164.500	0.000	33	0.115	164.600	0.849
Avl	166.150						34	0.104	164.400	0.849
	Cote Van		Sans							

Paramètres de fonctionnement : BASSE										
	Niveau d'eau	P/v (W/m3)	Tmoy (m)	Vit. Débitante	Cote radier mi-bassin	Débit d'Attrait	Cloison N°	Chute (m)	Cote radier amont paroi	Débit (m3/s)
Amt	172.600									
1	172.400	126	1.500	0.226	170.900	0.000	1	0.200	171.000	1.015
2	172.200	126	1.500	0.226	170.700	0.000	2	0.200	170.800	1.015
3	172.000	126	1.500	0.225	170.500	0.000	3	0.200	170.600	1.015
4	171.800	126	1.500	0.225	170.300	0.000	4	0.200	170.400	1.015
5	171.600	126	1.500	0.225	170.100	0.000	5	0.200	170.200	1.015
6	171.400	126	1.501	0.225	169.900	0.000	6	0.200	170.000	1.015
7	171.200	126	1.501	0.225	169.700	0.000	7	0.200	169.800	1.015
8	171.000	126	1.501	0.225	169.500	0.000	8	0.200	169.600	1.015
9	170.800	126	1.502	0.225	169.300	0.000	9	0.200	169.400	1.015
10	170.600	125	1.502	0.225	169.100	0.000	10	0.200	169.200	1.015
11	170.400	125	1.503	0.225	168.900	0.000	11	0.199	169.000	1.015
12	170.200	125	1.503	0.225	168.700	0.000	12	0.199	168.800	1.015
13	170.000	125	1.504	0.225	168.500	0.000	13	0.199	168.600	1.015
14	169.810	125	1.505	0.225	168.300	0.000	14	0.199	168.400	1.015
15	169.610	125	1.506	0.225	168.100	0.000	15	0.199	168.200	1.015
16	169.410	124	1.508	0.224	167.900	0.000	16	0.198	168.000	1.015
17	169.210	124	1.510	0.224	167.700	0.000	17	0.198	167.800	1.015
18	169.010	123	1.513	0.224	167.500	0.000	18	0.197	167.600	1.015
19	168.820	123	1.516	0.223	167.300	0.000	19	0.197	167.400	1.015
20	168.620	122	1.520	0.223	167.100	0.000	20	0.196	167.200	1.015
21	168.420	121	1.525	0.222	166.900	0.000	21	0.195	167.000	1.015
22	168.230	120	1.531	0.221	166.700	0.000	22	0.194	166.800	1.015
23	168.040	118	1.538	0.220	166.500	0.000	23	0.193	166.600	1.015
24	167.850	116	1.547	0.219	166.300	0.000	24	0.191	166.400	1.015
25	167.660	114	1.559	0.217	166.100	0.000	25	0.189	166.200	1.015
26	167.470	112	1.573	0.215	165.900	0.000	26	0.186	166.000	1.015
27	167.290	109	1.590	0.213	165.700	0.000	27	0.183	165.800	1.015
28	167.110	105	1.610	0.210	165.500	0.000	28	0.179	165.600	1.015
29	166.940	101	1.635	0.207	165.300	0.000	29	0.175	165.400	1.015
30	166.770	96	1.665	0.203	165.100	0.000	30	0.170	165.200	1.015
31	166.600	91	1.701	0.199	164.900	0.000	31	0.164	165.000	1.015
32	166.440	85	1.743	0.194	164.700	0.000	32	0.158	164.800	1.015
33	166.290	79	1.793	0.189	164.500	0.000	33	0.151	164.600	1.015
Avl	166.150						34	0.143	164.400	1.015
	Cote Van		Sans							

Paramètres de fonctionnement : NOMINALE										
	Niveau d'eau	P/v (W/m3)	Tmoy (m)	Vit. Débitante	Cote radier mi-bassin	Débit d'Attrait	Cloison N°	Chute (m)	Cote radier amont paroi	Débit (m3/s)
Amt	172.900									
1	172.700	124	1.800	0.223	170.900	0.000	1	0.200	171.000	1.204
2	172.500	124	1.800	0.223	170.700	0.000	2	0.200	170.800	1.204
3	172.300	124	1.800	0.223	170.500	0.000	3	0.200	170.600	1.204
4	172.100	124	1.800	0.223	170.300	0.000	4	0.200	170.400	1.204
5	171.900	124	1.800	0.223	170.100	0.000	5	0.200	170.200	1.204
6	171.700	124	1.800	0.223	169.900	0.000	6	0.200	170.000	1.204
7	171.500	124	1.800	0.223	169.700	0.000	7	0.200	169.800	1.204
8	171.300	124	1.800	0.223	169.500	0.000	8	0.200	169.600	1.204
9	171.100	124	1.800	0.223	169.300	0.000	9	0.200	169.400	1.204
10	170.900	124	1.800	0.223	169.100	0.000	10	0.200	169.200	1.204
11	170.700	124	1.801	0.223	168.900	0.000	11	0.200	169.000	1.204
12	170.500	124	1.801	0.223	168.700	0.000	12	0.200	168.800	1.204
13	170.300	124	1.801	0.223	168.500	0.000	13	0.200	168.600	1.204
14	170.100	124	1.801	0.223	168.300	0.000	14	0.200	168.400	1.204
15	169.900	124	1.801	0.223	168.100	0.000	15	0.200	168.200	1.204
16	169.700	124	1.801	0.223	167.900	0.000	16	0.200	168.000	1.204
17	169.500	124	1.802	0.223	167.700	0.000	17	0.200	167.800	1.204
18	169.300	124	1.802	0.223	167.500	0.000	18	0.200	167.600	1.204
19	169.100	124	1.803	0.223	167.300	0.000	19	0.199	167.400	1.204
20	168.900	124	1.803	0.223	167.100	0.000	20	0.199	167.200	1.204
21	168.700	124	1.804	0.222	166.900	0.000	21	0.199	167.000	1.204
22	168.510	124	1.805	0.222	166.700	0.000	22	0.199	166.800	1.204
23	168.310	123	1.806	0.222	166.500	0.000	23	0.199	166.600	1.204
24	168.110	123	1.808	0.222	166.300	0.000	24	0.199	166.400	1.204
25	167.910	123	1.809	0.222	166.100	0.000	25	0.198	166.200	1.204
26	167.710	123	1.811	0.222	165.900	0.000	26	0.198	166.000	1.204
27	167.510	123	1.813	0.221	165.700	0.000	27	0.198	165.800	1.204
28	167.320	122	1.816	0.221	165.500	0.000	28	0.197	165.600	1.204
29	167.120	121	1.819	0.221	165.300	0.000	29	0.197	165.400	1.204
30	166.920	120	1.824	0.220	165.100	0.000	30	0.196	165.200	1.204
31	166.730	120	1.829	0.220	164.900	0.000	31	0.195	165.000	1.204
32	166.530	119	1.834	0.219	164.700	0.000	32	0.194	164.800	1.204
33	166.340	117	1.842	0.218	164.500	0.000	33	0.193	164.600	1.204
Avl	166.150						34	0.191	164.400	1.204
	Cote Van		Sans							

Paramètres de fonctionnement : HAUTE										
	Niveau d'eau	P/v (W/m3)	Tmoy (m)	Vit. Débitante	Cote radier mi-bassin	Débit d'Attrait	Cloison N°	Chute (m)	Cote radier amont paroi	Débit (m3/s)
Amt	173.200									
1	173.000	124	2.100	0.221	170.900	0.000	1	0.200	171.000	1.395
2	172.800	124	2.100	0.221	170.700	0.000	2	0.200	170.800	1.395
3	172.600	124	2.099	0.221	170.500	0.000	3	0.200	170.600	1.395
4	172.400	124	2.099	0.222	170.300	0.000	4	0.200	170.400	1.395
5	172.200	124	2.099	0.222	170.100	0.000	5	0.200	170.200	1.395
6	172.000	124	2.099	0.222	169.900	0.000	6	0.200	170.000	1.395
7	171.800	124	2.098	0.222	169.700	0.000	7	0.200	169.800	1.395
8	171.600	124	2.098	0.222	169.500	0.000	8	0.200	169.600	1.395
9	171.400	124	2.097	0.222	169.300	0.000	9	0.201	169.400	1.395
10	171.200	124	2.097	0.222	169.100	0.000	10	0.201	169.200	1.395
11	171.000	124	2.096	0.222	168.900	0.000	11	0.201	169.000	1.395
12	170.800	124	2.095	0.222	168.700	0.000	12	0.201	168.800	1.395
13	170.590	125	2.094	0.222	168.500	0.000	13	0.201	168.600	1.395
14	170.390	125	2.093	0.222	168.300	0.000	14	0.201	168.400	1.395
15	170.190	125	2.092	0.222	168.100	0.000	15	0.201	168.200	1.395
16	169.990	125	2.090	0.223	167.900	0.000	16	0.202	168.000	1.395
17	169.790	126	2.088	0.223	167.700	0.000	17	0.202	167.800	1.395
18	169.590	126	2.086	0.223	167.500	0.000	18	0.202	167.600	1.395
19	169.380	126	2.083	0.223	167.300	0.000	19	0.203	167.400	1.395
20	169.180	127	2.079	0.224	167.100	0.000	20	0.203	167.200	1.395
21	168.980	128	2.076	0.224	166.900	0.000	21	0.204	167.000	1.395
22	168.770	128	2.071	0.225	166.700	0.000	22	0.205	166.800	1.395
23	168.570	129	2.065	0.225	166.500	0.000	23	0.206	166.600	1.395
24	168.360	130	2.059	0.226	166.300	0.000	24	0.207	166.400	1.395
25	168.150	132	2.051	0.227	166.100	0.000	25	0.208	166.200	1.395
26	167.940	133	2.042	0.228	165.900	0.000	26	0.209	166.000	1.395
27	167.730	135	2.030	0.229	165.700	0.000	27	0.211	165.800	1.395
28	167.520	137	2.017	0.231	165.500	0.000	28	0.213	165.600	1.395
29	167.300	140	2.001	0.232	165.300	0.000	29	0.216	165.400	1.395
30	167.080	144	1.981	0.235	165.100	0.000	30	0.219	165.200	1.395
31	166.860	148	1.958	0.238	164.900	0.000	31	0.224	165.000	1.395
32	166.630	154	1.929	0.241	164.700	0.000	32	0.229	164.800	1.395
33	166.390	161	1.894	0.246	164.500	0.000	33	0.235	164.600	1.395
34							34	0.244	164.400	1.395
Avl	166.150									
	Cote Van		Sans							

Paramètres de fonctionnement : MAXI										
	Niveau d'eau	P/v (W/m3)	Tmoy (m)	Vit. Débitante	Cote radier mi-bassin	Débit d'Attrait	Cloison N°	Chute (m)	Cote radier amont paroi	Débit (m3/s)
Amt	173.500									
1	173.300	150	2.400	0.268	170.900	0.000	1	0.200	171.000	1.933
2	173.100	150	2.400	0.268	170.700	0.000	2	0.200	170.800	1.933
3	172.900	150	2.400	0.269	170.500	0.000	3	0.200	170.600	1.933
4	172.700	150	2.400	0.268	170.300	0.000	4	0.200	170.400	1.933
5	172.500	150	2.400	0.268	170.100	0.000	5	0.200	170.200	1.933
6	172.300	150	2.400	0.268	169.900	0.000	6	0.200	170.000	1.933
7	172.100	150	2.400	0.269	169.700	0.000	7	0.200	169.800	1.933
8	171.900	150	2.400	0.268	169.500	0.000	8	0.200	169.600	1.933
9	171.700	150	2.400	0.268	169.300	0.000	9	0.200	169.400	1.933
10	171.500	150	2.400	0.269	169.100	0.000	10	0.200	169.200	1.933
11	171.300	150	2.400	0.268	168.900	0.000	11	0.200	169.000	1.933
12	171.100	150	2.400	0.268	168.700	0.000	12	0.200	168.800	1.933
13	170.900	150	2.400	0.269	168.500	0.000	13	0.200	168.600	1.933
14	170.700	150	2.400	0.268	168.300	0.000	14	0.200	168.400	1.933
15	170.500	150	2.400	0.268	168.100	0.000	15	0.200	168.200	1.933
16	170.300	150	2.400	0.268	167.900	0.000	16	0.200	168.000	1.933
17	170.100	150	2.400	0.269	167.700	0.000	17	0.200	167.800	1.933
18	169.900	150	2.400	0.269	167.500	0.000	18	0.200	167.600	1.933
19	169.700	150	2.400	0.269	167.300	0.000	19	0.200	167.400	1.933
20	169.500	150	2.400	0.269	167.100	0.000	20	0.200	167.200	1.933
21	169.300	150	2.400	0.269	166.900	0.000	21	0.200	167.000	1.933
22	169.100	150	2.400	0.269	166.700	0.000	22	0.200	166.800	1.933
23	168.900	150	2.399	0.269	166.500	0.000	23	0.200	166.600	1.933
24	168.700	151	2.398	0.269	166.300	0.000	24	0.201	166.400	1.933
25	168.500	151	2.397	0.269	166.100	0.000	25	0.201	166.200	1.933
26	168.290	152	2.395	0.269	165.900	0.000	26	0.202	166.000	1.933
27	168.090	154	2.391	0.270	165.700	0.000	27	0.204	165.800	1.933
28	167.880	157	2.382	0.270	165.500	0.000	28	0.208	165.600	1.933
29	167.670	163	2.368	0.272	165.300	0.000	29	0.215	165.400	1.933
30	167.440	174	2.341	0.275	165.100	0.000	30	0.227	165.200	1.933
31	167.190	196	2.292	0.281	164.900	0.000	31	0.249	165.000	1.933
32	166.900	237	2.203	0.293	164.700	0.000	32	0.290	164.800	1.933
33	166.550	308	2.052	0.314	164.500	0.000	33	0.351	164.600	1.933
Avl	166.150						34	0.402	164.400	1.933
	Cote Van		Sans							

**ANNEXE 2 – calcul des lignes d'eau dans la passe rive droite**

Caractéristiques géométriques de Rhinau rive droite													
	Surf Orif	Mu Orif	Larg. Fent	Mu Fent	Cote dév Fente	Cote Rad amt pa.	Cote Rad mi-bas.	Long Bas.	Larg Bas.	Larg Ech 1	Alpha Ech 1	Béta Ech 1	Cote seuil Ech 1
1	0.000	0.000	0.400	0.800	164.100	164.100				2.220	0.400	0.000	166.400
2	0.000	0.000	0.400	0.800	163.900	163.900	164.000	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	166.000
3	0.000	0.000	0.400	0.800	163.700	163.700	163.800	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	165.800
4	0.000	0.000	0.400	0.800	163.500	163.500	163.600	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	165.600
5	0.000	0.000	0.400	0.800	163.300	163.300	163.400	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	165.400
6	0.000	0.000	0.400	0.800	163.100	163.100	163.200	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	165.200
7	0.000	0.000	0.400	0.800	162.900	162.900	163.000	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	165.000
8	0.000	0.000	0.400	0.800	162.700	162.700	162.800	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	164.800
9	0.000	0.000	0.400	0.800	162.500	162.500	162.600	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	164.600
10	0.000	0.000	0.400	0.800	162.300	162.300	162.400	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	164.400
11	0.000	0.000	0.400	0.800	162.100	162.100	162.200	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	164.200
12	0.000	0.000	0.400	0.800	161.900	161.900	162.000	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	164.000
13	0.000	0.000	0.400	0.800	161.700	161.700	161.800	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	163.800
14	0.000	0.000	0.400	0.800	161.500	161.500	161.600	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	163.600
15	0.000	0.000	0.400	0.800	161.300	161.300	161.400	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	163.400
16	0.000	0.000	0.400	0.800	161.100	161.100	161.200	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	163.200
17	0.000	0.000	0.400	0.800	160.900	160.900	161.000	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	163.000
18	0.000	0.000	0.400	0.800	160.700	160.700	160.800	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	162.800
19	0.000	0.000	0.400	0.800	160.500	160.500	160.600	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	162.600
20	0.000	0.000	0.400	0.800	160.300	160.300	160.400	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	162.400
21	0.000	0.000	0.400	0.800	160.100	160.100	160.200	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	162.200
22	0.000	0.000	0.400	0.800	159.900	159.900	160.000	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	162.000
23	0.000	0.000	0.400	0.800	159.700	159.700	159.800	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	161.800
24	0.000	0.000	0.400	0.800	159.500	159.500	159.600	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	161.600
25	0.000	0.000	0.400	0.800	159.300	159.300	159.400	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	161.400
26	0.000	0.000	0.400	0.800	159.100	159.100	159.200	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	161.200
27	0.000	0.000	0.400	0.800	158.900	158.900	159.000	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	161.000
28	0.000	0.000	0.400	0.800	158.700	158.700	158.800	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	160.800
29	0.000	0.000	0.400	0.800	158.500	158.500	158.600	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	160.600
30	0.000	0.000	0.800	0.800	157.500	157.500	158.000	9.500	3.800	0.000	0.400	0.000	0.000

Vanne : Sans

Paramètres de fonctionnement : Ligne nominale aval bas										
	Niveau d'eau	P/v (W/m <sup>3</sup> )	Tmoy (m)	Vit. Débitante	Cote radier mi-bassin	Débit d'Attrait	Cloison N°	Chute (m)	Cote radier amont paroi	Débit (m <sup>3</sup> /s)
Amt	166.000									
1	165.800	125	1.800	0.223	164.000	0.000	1	0.200	164.100	1.204
2	165.600	125	1.800	0.223	163.800	0.000	2	0.200	163.900	1.204
3	165.400	125	1.800	0.223	163.600	0.000	3	0.200	163.700	1.204
4	165.200	125	1.800	0.223	163.400	0.000	4	0.200	163.500	1.204
5	165.000	125	1.800	0.223	163.200	0.000	5	0.200	163.300	1.204
6	164.800	124	1.800	0.223	163.000	0.000	6	0.200	163.100	1.204
7	164.600	124	1.800	0.223	162.800	0.000	7	0.200	162.900	1.204
8	164.400	124	1.800	0.223	162.600	0.000	8	0.200	162.700	1.204
9	164.200	124	1.800	0.223	162.400	0.000	9	0.200	162.500	1.204
10	164.000	124	1.800	0.223	162.200	0.000	10	0.200	162.300	1.204
11	163.800	124	1.800	0.223	162.000	0.000	11	0.200	162.100	1.204
12	163.600	124	1.800	0.223	161.800	0.000	12	0.200	161.900	1.204
13	163.400	124	1.800	0.223	161.600	0.000	13	0.200	161.700	1.204
14	163.201	124	1.801	0.223	161.400	0.000	14	0.200	161.500	1.204
15	163.001	124	1.801	0.223	161.200	0.000	15	0.200	161.300	1.204
16	162.801	124	1.801	0.223	161.000	0.000	16	0.200	161.100	1.204
17	162.601	124	1.801	0.223	160.800	0.000	17	0.200	160.900	1.204
18	162.401	124	1.801	0.223	160.600	0.000	18	0.200	160.700	1.204
19	162.201	124	1.801	0.223	160.400	0.000	19	0.200	160.500	1.204
20	162.002	124	1.802	0.223	160.200	0.000	20	0.200	160.300	1.204
21	161.802	124	1.802	0.223	160.000	0.000	21	0.200	160.100	1.204
22	161.602	124	1.802	0.223	159.800	0.000	22	0.200	159.900	1.204
23	161.403	124	1.803	0.223	159.600	0.000	23	0.200	159.700	1.204
24	161.203	124	1.803	0.223	159.400	0.000	24	0.199	159.500	1.204
25	161.004	124	1.804	0.223	159.200	0.000	25	0.199	159.300	1.204
26	160.805	124	1.805	0.222	159.000	0.000	26	0.199	159.100	1.204
27	160.606	124	1.806	0.222	158.800	0.000	27	0.199	158.900	1.204
28	160.407	123	1.807	0.222	158.600	0.000	28	0.199	158.700	1.204
29	160.208	29	2.208	0.144	158.000	2.300	29	0.199	158.500	1.204
Avl	160.000						30	0.208	157.500	3.504
	Cote Van		Sans							

Paramètres de fonctionnement : Ligne nominale aval haut										
	Niveau d'eau	P/v (W/m3)	Tmoy (m)	Vit. Débitante	Cote radier mi-bassin	Débit d'Attrait	Cloison N°	Chute (m)	Cote radier amont paroi	Débit (m3/s)
Amt	166.000									
1	165.801	124	1.801	0.222	164.000	0.000	1	0.199	164.100	1.202
2	165.602	124	1.802	0.222	163.800	0.000	2	0.199	163.900	1.202
3	165.403	123	1.803	0.222	163.600	0.000	3	0.199	163.700	1.202
4	165.204	123	1.804	0.222	163.400	0.000	4	0.199	163.500	1.202
5	165.006	123	1.806	0.222	163.200	0.000	5	0.198	163.300	1.202
6	164.808	122	1.808	0.222	163.000	0.000	6	0.198	163.100	1.202
7	164.610	122	1.810	0.221	162.800	0.000	7	0.198	162.900	1.202
8	164.413	122	1.813	0.221	162.600	0.000	8	0.197	162.700	1.202
9	164.217	121	1.817	0.221	162.400	0.000	9	0.196	162.500	1.202
10	164.021	120	1.821	0.220	162.200	0.000	10	0.196	162.300	1.202
11	163.826	119	1.826	0.219	162.000	0.000	11	0.195	162.100	1.202
12	163.633	118	1.833	0.219	161.800	0.000	12	0.194	161.900	1.202
13	163.440	117	1.840	0.218	161.600	0.000	13	0.193	161.700	1.202
14	163.249	116	1.849	0.217	161.400	0.000	14	0.191	161.500	1.202
15	163.060	114	1.860	0.215	161.200	0.000	15	0.189	161.300	1.202
16	162.872	112	1.872	0.214	161.000	0.000	16	0.187	161.100	1.202
17	162.687	110	1.887	0.212	160.800	0.000	17	0.185	160.900	1.202
18	162.505	107	1.905	0.210	160.600	0.000	18	0.182	160.700	1.202
19	162.326	104	1.926	0.208	160.400	0.000	19	0.179	160.500	1.202
20	162.151	100	1.951	0.205	160.200	0.000	20	0.175	160.300	1.202
21	161.980	96	1.980	0.202	160.000	0.000	21	0.171	160.100	1.202
22	161.814	92	2.014	0.199	159.800	0.000	22	0.166	159.900	1.202
23	161.655	86	2.055	0.195	159.600	0.000	23	0.159	159.700	1.202
24	161.513	75	2.113	0.190	159.400	0.000	24	0.142	159.500	1.202
25	161.400	57	2.200	0.182	159.200	0.000	25	0.113	159.300	1.202
26	161.320	38	2.320	0.173	159.000	0.000	26	0.080	159.100	1.202
27	161.267	24	2.467	0.162	158.800	0.000	27	0.053	158.900	1.202
28	161.233	14	2.633	0.152	158.600	0.000	28	0.034	158.700	1.202
29	161.211	2	3.211	0.099	158.000	2.300	29	0.022	158.500	1.202
Avl	161.100						30	0.111	157.500	3.502
	Cote Van		Sans							

**ANNEXE 3 – Cassiopée : calcul des lignes d'eau dans la passe rive gauche**

Caractéristiques géométriques de Rhinau pab rg																	
	Surf Orif	Mu Orif	Larg. Fent	Mu Fent	Cote dev Fente	Cote Rad amt pa.	Cote Rad mi-bas.	Long Bas.	Larg Bas.	Larg Ech 1	Alpha Ech 1	Béta Ech 1	Cote seuil Ech 1	Larg Ech 2	Alpha Ech 2	Béta Ech 2	Cote seuil Ech 2
1	0.000	0.000	0.400	0.800	163.500	163.500	163.400	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	165.600	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.400	0.800	163.300	163.300	163.200	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	165.400	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.000	0.400	0.800	163.100	163.100	163.000	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	165.200	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.000	0.400	0.800	162.900	162.900	162.800	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	165.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.000	0.400	0.800	162.700	162.700	162.600	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	164.800	0.000	0.000	0.000	0.000
6	0.000	0.000	0.400	0.800	162.500	162.500	162.400	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	164.600	0.000	0.000	0.000	0.000
7	0.000	0.000	0.400	0.800	162.300	162.300	162.200	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	164.400	0.000	0.000	0.000	0.000
8	0.000	0.000	0.400	0.800	162.100	162.100	162.000	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	164.200	0.000	0.000	0.000	0.000
9	0.000	0.000	0.400	0.800	161.900	161.900	161.800	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	164.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	0.000	0.000	0.400	0.800	161.700	161.700	161.600	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	163.800	0.000	0.000	0.000	0.000
11	0.000	0.000	0.400	0.800	161.500	161.500	161.400	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	163.600	0.000	0.000	0.000	0.000
12	0.000	0.000	0.400	0.800	161.300	161.300	161.200	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	163.400	0.000	0.000	0.000	0.000
13	0.000	0.000	0.400	0.800	161.100	161.100	161.000	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	163.200	0.000	0.000	0.000	0.000
14	0.000	0.000	0.400	0.800	160.900	160.900	160.800	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	163.000	0.000	0.000	0.000	0.000
15	0.000	0.000	0.400	0.800	160.700	160.700	160.600	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	162.800	0.000	0.000	0.000	0.000
16	0.000	0.000	0.400	0.800	160.500	160.500	160.400	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	162.600	0.000	0.000	0.000	0.000
17	0.000	0.000	0.400	0.800	160.300	160.300	160.200	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	162.400	0.000	0.000	0.000	0.000
18	0.000	0.000	0.400	0.800	160.100	160.100	160.000	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	162.200	0.000	0.000	0.000	0.000
19	0.000	0.000	0.400	0.800	159.900	159.900	159.800	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	162.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20	0.000	0.000	0.400	0.800	159.700	159.700	159.600	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	161.800	0.000	0.000	0.000	0.000
21	0.000	0.000	0.400	0.800	159.500	159.500	159.400	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	161.600	0.000	0.000	0.000	0.000
22	0.000	0.000	0.400	0.800	159.300	159.300	159.200	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	161.400	0.000	0.000	0.000	0.000
23	0.000	0.000	0.400	0.800	159.100	159.100	159.000	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	161.200	0.000	0.000	0.000	0.000
24	0.000	0.000	0.400	0.800	158.900	158.900	158.800	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	161.000	0.000	0.000	0.000	0.000
25	0.000	0.000	0.400	0.800	158.700	158.700	158.600	3.500	3.000	2.220	0.400	0.000	160.800	0.000	0.000	0.000	0.000
26	0.000	0.000	0.400	0.800	158.500	158.500	158.000	7.000	3.800	0.000	0.400	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
27	0.000	0.000	0.800	0.800	157.500	157.500											

Paramètres de fonctionnement : Ligne nominale aval bas										
	Niveau d'eau	P/v (W/m3)	Tmoy (m)	Vit. Débitante	Cote radier mi-bassin	Débit d'Attrait	Cloison N°	Chute (m)	Cote radier amont paroi	Débit (m3/s)
Amt	165.400									
1	165.200	125	1.800	0.223	163.400	0.000	1	0.200	163.500	1.204
2	165.000	125	1.800	0.223	163.200	0.000	2	0.200	163.300	1.204
3	164.800	125	1.800	0.223	163.000	0.000	3	0.200	163.100	1.204
4	164.600	125	1.800	0.223	162.800	0.000	4	0.200	162.900	1.204
5	164.400	125	1.800	0.223	162.600	0.000	5	0.200	162.700	1.204
6	164.200	125	1.800	0.223	162.400	0.000	6	0.200	162.500	1.204
7	164.000	125	1.800	0.223	162.200	0.000	7	0.200	162.300	1.204
8	163.800	124	1.800	0.223	162.000	0.000	8	0.200	162.100	1.204
9	163.600	124	1.800	0.223	161.800	0.000	9	0.200	161.900	1.204
10	163.400	124	1.800	0.223	161.600	0.000	10	0.200	161.700	1.204
11	163.200	124	1.800	0.223	161.400	0.000	11	0.200	161.500	1.204
12	163.000	124	1.800	0.223	161.200	0.000	12	0.200	161.300	1.204
13	162.801	124	1.801	0.223	161.000	0.000	13	0.200	161.100	1.204
14	162.601	124	1.801	0.223	160.800	0.000	14	0.200	160.900	1.204
15	162.401	124	1.801	0.223	160.600	0.000	15	0.200	160.700	1.204
16	162.201	124	1.801	0.223	160.400	0.000	16	0.200	160.500	1.204
17	162.001	124	1.801	0.223	160.200	0.000	17	0.200	160.300	1.204
18	161.802	124	1.802	0.223	160.000	0.000	18	0.200	160.100	1.204
19	161.602	124	1.802	0.223	159.800	0.000	19	0.200	159.900	1.204
20	161.403	124	1.803	0.223	159.600	0.000	20	0.200	159.700	1.204
21	161.203	124	1.803	0.223	159.400	0.000	21	0.199	159.500	1.204
22	161.004	124	1.804	0.223	159.200	0.000	22	0.199	159.300	1.204
23	160.805	124	1.805	0.222	159.000	0.000	23	0.199	159.100	1.204
24	160.606	124	1.806	0.222	158.800	0.000	24	0.199	158.900	1.204
25	160.407	123	1.807	0.222	158.600	0.000	25	0.199	158.700	1.204
26	160.208	99	2.208	0.144	158.000	2.300	26	0.199	158.500	1.204
Avl	160.000						27	0.208	157.500	3.504

Paramètres de fonctionnement : Ligne nominale aval haut										
	Niveau d'eau	P/v (W/m3)	Tmoy (m)	Vit. Débitante	Cote radier mi-bassin	Débit d'Attrait	Cloison N°	Chute (m)	Cote radier amont paroi	Débit (m3/s)
Amt	165.400									
1	165.201	123	1.801	0.222	163.400	0.000	1	0.199	163.500	1.200
2	165.003	123	1.803	0.222	163.200	0.000	2	0.198	163.300	1.200
3	164.805	122	1.805	0.222	163.000	0.000	3	0.198	163.100	1.200
4	164.608	122	1.808	0.221	162.800	0.000	4	0.198	162.900	1.200
5	164.411	122	1.811	0.221	162.600	0.000	5	0.197	162.700	1.200
6	164.214	121	1.814	0.221	162.400	0.000	6	0.196	162.500	1.200
7	164.018	120	1.818	0.220	162.200	0.000	7	0.196	162.300	1.200
8	163.824	119	1.824	0.219	162.000	0.000	8	0.195	162.100	1.200
9	163.630	118	1.830	0.219	161.800	0.000	9	0.194	161.900	1.200
10	163.437	117	1.837	0.218	161.600	0.000	10	0.192	161.700	1.200
11	163.246	115	1.846	0.217	161.400	0.000	11	0.191	161.500	1.200
12	163.057	114	1.857	0.215	161.200	0.000	12	0.189	161.300	1.200
13	162.870	112	1.870	0.214	161.000	0.000	13	0.187	161.100	1.200
14	162.685	109	1.885	0.212	160.800	0.000	14	0.185	160.900	1.200
15	162.503	107	1.903	0.210	160.600	0.000	15	0.182	160.700	1.200
16	162.325	104	1.925	0.208	160.400	0.000	16	0.179	160.500	1.200
17	162.150	100	1.950	0.205	160.200	0.000	17	0.175	160.300	1.200
18	161.979	96	1.979	0.202	160.000	0.000	18	0.171	160.100	1.200
19	161.813	92	2.013	0.199	159.800	0.000	19	0.166	159.900	1.200
20	161.654	86	2.054	0.195	159.600	0.000	20	0.159	159.700	1.200
21	161.512	75	2.112	0.189	159.400	0.000	21	0.142	159.500	1.200
22	161.400	57	2.200	0.182	159.200	0.000	22	0.113	159.300	1.200
23	161.320	38	2.320	0.172	159.000	0.000	23	0.080	159.100	1.200
24	161.266	24	2.466	0.162	158.800	0.000	24	0.053	158.900	1.200
25	161.232	14	2.632	0.152	158.600	0.000	25	0.034	158.700	1.200
26	161.211	2	3.211	0.098	158.000	2.300	26	0.022	158.500	1.200
Avl	161.100						27	0.111	157.500	3.500

**ANNEXE 4 – Cassiopée : calcul des lignes d'eau dans la passe de transfert**

Caractéristiques géométriques de Liaison																	
	Surf Orif	Mu Orif	Larg. Fent	Mu Fent	Cote dév Fente	Cote Rad amt pa.	Cote Rad mi-bas.	Long Bas.	Larg Bas.	Larg Ech 1	Alpha Ech 1	Béta Ech 1	Cote seuil Ech 1	Larg Ech 2	Alpha Ech 2	Béta Ech 2	Cote seuil Ech 2
1	0.000	0.000	0.400	0.800	164.100	164.100	164.000	3.500	3.000	0.000	0.400	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.400	0.800	163.900	163.900	163.800	3.500	3.000	1.750	0.400	0.000	166.200	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.000	0.400	0.800	163.700	163.700				1.750	0.400	0.000	166.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Paramètres de fonctionnement : Ligne nominale										
	Niveau d'eau	P/v (W/m3)	Tmoy (m)	Vit. Débitante	Cote radier mi-bassin	Débit d'Attrait	Cloison N°	Chute (m)	Cote radier amont paroi	Débit (m3/s)
Amt	166.000									
1	165.800	125	1.800	0.223	164.000	0.000	1	0.200	164.100	1.204
2	165.600	125	1.800	0.223	163.800	0.000	2	0.200	163.900	1.204
Avl	165.400						3	0.200	163.700	1.204

**ANNEXE 5 – Sensibilité de l’ouvrage aux valeurs extrêmes de niveau**

### Evolutions de l'ouvrage pour les valeurs extrêmes amont

Les valeurs extrêmes conduisent à des débits dans la passe amont de 0,9 m<sup>3</sup>/s pour la cote basse (172,5 NN) et de 1,64 m<sup>3</sup>/s pour la cote haute (173,5 NN).

Pour un débit de 0,9 m<sup>3</sup>/s, la profondeur moyenne dans les bassins sera supérieure ou égale à 1,3 m.

Pour un débit de 1,64 m<sup>3</sup>/s, la vitesse dans le canal amont-aval sera de 57 cm/s.

Ces paramètres sont acceptables vis-à-vis de la migration des poissons.

Rappelons qu'en aval de l'injection du débit complémentaire, les variations de débit seront compensées par la régulation qui maintiendra un débit total de 2,4 m<sup>3</sup>/s dans les passes (1,2 m<sup>3</sup>/s par rive).

La délivrance de la valeur du débit d'attrait ne sera pas influencée par les valeurs amont extrêmes.

### Evolutions de l'ouvrage pour les valeurs extrêmes aval

Lorsque le niveau en aval de l'usine atteint la cote de 159,4 NN, le débit d'attrait délivré par les pompes de la rive gauche et la turbine de la rive droite sera maintenu.

L'analyse que l'on fait ci-après est donc la même pour la rive droite et pour la rive gauche.

Pour un niveau aval de 159,4 NN, les vannes de régulation des entrées piscicoles se positionneront en butée basse soit à la cote 158,1 NN. Dans cette configuration, une vanne délivrera 5 m<sup>3</sup>/s sous une chute de 33 cm, ce qui reste acceptable pour la migration des poissons.

Le niveau en amont des vannes sera donc de 159,73 NN.

Cela majorera légèrement les valeurs des chutes de la partie basse des passes de rive (évolution de 25 cm jusqu'à 20 cm, cf. calcul Cassiopée ci-après). Les chutes restent acceptables.

Les vitesses d'injection des débits d'attrait seront également légèrement majorées tout en restant acceptables (vitesse au travers de la grande grille d'injection 39 cm/s et vitesse au travers de la petite grille d'injection 36 cm/s).

Paramètres de fonctionnement : Ligne nominale aval bas										
	Niveau d'eau	P/v (W/m <sup>3</sup> )	Tmoy (m)	Vit. Débitante	Cote radier mi-bassin	Débit d'Attrait	Cloison N°	Chute (m)	Cote radier amont paroi	Débit (m <sup>3</sup> /s)
Amt	166.000									
1	165.800	125	1.800	0.223	164.000	0.000	1	0.200	164.100	1.205
2	165.600	125	1.800	0.223	163.800	0.000	2	0.200	163.900	1.205
3	165.399	125	1.799	0.223	163.600	0.000	3	0.200	163.700	1.205
4	165.199	125	1.799	0.223	163.400	0.000	4	0.200	163.500	1.205
5	164.999	125	1.799	0.223	163.200	0.000	5	0.200	163.300	1.205
6	164.798	125	1.798	0.223	163.000	0.000	6	0.200	163.100	1.205
7	164.598	125	1.798	0.223	162.800	0.000	7	0.201	162.900	1.205
8	164.397	125	1.797	0.223	162.600	0.000	8	0.201	162.700	1.205
9	164.197	125	1.797	0.224	162.400	0.000	9	0.201	162.500	1.205
10	163.996	125	1.796	0.224	162.200	0.000	10	0.201	162.300	1.205
11	163.795	126	1.795	0.224	162.000	0.000	11	0.201	162.100	1.205
12	163.593	126	1.793	0.224	161.800	0.000	12	0.201	161.900	1.205
13	163.392	126	1.792	0.224	161.600	0.000	13	0.202	161.700	1.205
14	163.190	127	1.790	0.224	161.400	0.000	14	0.202	161.500	1.205
15	162.987	127	1.787	0.225	161.200	0.000	15	0.202	161.300	1.205
16	162.785	127	1.785	0.225	161.000	0.000	16	0.203	161.100	1.205
17	162.581	128	1.781	0.225	160.800	0.000	17	0.203	160.900	1.205
18	162.377	129	1.777	0.226	160.600	0.000	18	0.204	160.700	1.205
19	162.172	130	1.772	0.227	160.400	0.000	19	0.205	160.500	1.205
20	161.965	131	1.765	0.227	160.200	0.000	20	0.206	160.300	1.205
21	161.758	132	1.758	0.228	160.000	0.000	21	0.208	160.100	1.205
22	161.548	134	1.748	0.230	159.800	0.000	22	0.209	159.900	1.205
23	161.337	137	1.737	0.231	159.600	0.000	23	0.211	159.700	1.205
24	161.123	139	1.723	0.233	159.400	0.000	24	0.214	159.500	1.205
25	160.905	143	1.705	0.235	159.200	0.000	25	0.217	159.300	1.205
26	160.684	148	1.684	0.239	159.000	0.000	26	0.222	159.100	1.205
27	160.457	154	1.657	0.242	158.800	0.000	27	0.227	158.900	1.205
28	160.222	162	1.622	0.248	158.600	0.000	28	0.234	158.700	1.205
29	159.979	40	1.979	0.160	158.000	2.300	29	0.244	158.500	1.205
Avl	159.730						30	0.249	157.500	3.505



CHANGER L'ENERGIE ENSEMBLE

## Page d'approbation

### PASSE A POISSONS DE RHINAU – DIMENSIONNEMENT HYDRAULIQUE ET PISCICOLE

Réf. : H-30575713-2021-000058

Indice : B Date : 15/12/2021 Accessibilité : Restreint

#### Rédacteur(s) :

- DUMOND Lionel - 15/12/2021
- GUYOT Gregory - 15/12/2021

#### Vérificateur(s) :

- FLAGEUL Sandrine pour le compte de GANT Magali - 15/12/2021
- FLAGEUL Sandrine pour le compte de VERMEULEN Julien - 15/12/2021

#### Approbateur(s) :

- FLAGEUL Sandrine pour le compte de BROUSSE Guillian - 15/12/2021
- FLAGEUL Sandrine pour le compte de MOURRAT Aude - 15/12/2021

EDF SA  
22-30 avenue de Wagram  
75382 Paris Cedex 08 – France  
Capital de 1 549 961 789,50 euros  
552 081 317 R.C.S Paris

[www.edf.fr](http://www.edf.fr)

© EDF -2021. Ce document est la propriété d'EDF. Toute communication, reproduction, publication, même partielle, est interdite sauf autorisation.

H-30575713-2021-000058 B approuvé le 15/12/2021 RESTREINT EN GED