

RAPPORT TECHNIQUE

Ouvrages de franchissement poissons / pirogues de la centrale hydroélectrique de Saut Belle Etoile en Guyane



Photo Voltalia ©

N° d'affaire : DS 17 06 036 ROBU

Indice	Objet succinct de la révision	Date	Rédacteur	Vérificateur / Approbateur
0	Initial	07/09/2017	V.LEMAY	R.BUCHER
A	Mise à jour après réunion téléphonique VOLTALIA-AFB-DEAL-HSM du 11/09 et avis AFB D2017-148 du 04/10	12/10/2017	V.LEMAY	R.BUCHER
<i>Signatures</i>				

Ce document est la seule propriété d'HYDROSTADIUM, il ne peut être modifié ou diffusé à des tiers sans autorisation écrite préalable.

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	3
1.1. CONTEXTE	3
1.2. CADRE ADMINISTRATIF ET REGLEMENTAIRE.....	3
1.3. OBJECTIF DE L'OPERATION	3
2. DONNEES D'ENTREE	4
2.1. DOCUMENTS DE REFERENCE.....	4
2.2. BIBLIOGRAPHIE	5
2.3. LOCALISATION ET CONTRAINTES D'ACCES (D'APRES [REF.3])	5
2.4. TOPOGRAPHIE (D'APRES [REF.3])	6
2.5. GEOLOGIE / GEOTECHNIQUE	7
2.6. SISMICITE.....	7
2.7. HYDROLOGIE DE LA MANA	7
2.8. CARACTERISATION HYDRAULIQUE DU SITE.....	8
2.9. PEUPLEMENT PISCICOLE	9
3. DESCRIPTION DES SOLUTIONS TECHNIQUES POUR LE FRANCHISSEMENT DES PIROGUES ET DES POISSONS EN MONTAISON	10
3.1. RECAPITULATIF DES ETUDES ANTERIEURES (CF. [REF.3])	10
3.2. PERFORMANCES ATTENDUES POUR LES OUVRAGES DE FRANCHISSEMENT	12
3.3. PLAGE DE FONCTIONNEMENT	12
3.4. SOLUTIONS RETENUES	14
3.5. PRESENTATION DE LA SOLUTION « OUVRAGE MIXTE ».....	14
3.6. ETUDE DE LA SOLUTION « DEUX OUVRAGES DISTINCTS »	16
4. DESCRIPTION DE LA SOLUTION TECHNIQUE POUR LA DEVALAISON DES POISSONS	21
4.1. RECAPITULATIF DES ETUDES ANTERIEURES (CF. [REF.3])	21
4.2. CONDITIONS INITIALES DE DEVALAISON	22
4.3. ETUDE DE L'OUVRAGE DE DEVALAISON	22
4.4. CONCLUSION QUANT AU CHOIX DE LA CONFIGURATION DU PLAN DE GRILLE	29
5. HORS PERIMETRE DE L'ETUDE : CONCEPTION GENIE-CIVIL DES OUVRAGES.....	29
6. ANNEXES	30

1. INTRODUCTION

1.1. CONTEXTE

La société SAS Belle Etoile Energie Guyane, filiale de Voltalia, projète l'aménagement d'une centrale hydroélectrique basse chute de puissance administrative 4.5 MW sur le fleuve Mana en Guyane. Le site, nommé « Saut Belle Etoile » est situé au PK. 33.6, en amont de la centrale de Saut Maman Valentin, qui a été équipée en 2012.

Le groupement de Maitrise d'œuvre Artelia-Biotope-Hydreco est chargée de la Maitrise d'oeuvre de conception des ouvrages hydroélectriques qui se composent :

- D'une centrale hydroélectrique basse chute équipée de deux turbines Kaplan à axe horizontal, implantée en rive gauche du barrage, à cheval entre la berge rive gauche et le lit de la rivière. Le bâtiment abritera en infrastructure les turbines, multiplicateurs et alternateurs. L'arase supérieure des accès au bâtiment est calée au-dessus du niveau de crue centennale (définie comme la cote de plus hautes eaux PHE), pour les maintenir hors d'eau.
- D'une grille de protection, équipée d'un dégrilleur automatique, placée en amont des turbines.
- D'un chenal de restitution immédiatement en aval de la centrale. Un mur guideau, submersible en crue, sera construit entre la centrale et le barrage pour créer ce canal de fuite.
- D'un barrage poids en béton, d'environ 8 m de haut au-dessus du terrain naturel, dont la partie déversante de 110 m de long est calée au niveau de retenue nominale (RN) de l'aménagement.
- De digues de fermeture en remblais, implantées respectivement dans le prolongement du seuil en rive droite et dans le prolongement de la centrale en rive gauche, afin de prévenir tout contournement hydraulique des ouvrages en dessous des plus hautes eaux.
- D'une piste d'accès en rive gauche, circulant sur la crête de la digue de fermeture.
- D'un chenal excavé en berge rive gauche et équipé de seuils successifs, faisant fonction de passe mixte permettant le franchissement des poissons (montaison) et des pirogues (double sens).

Les principales caractéristiques de l'aménagement hydroélectrique de Saut Belle Etoile sont :

<input type="checkbox"/> Niveau de retenue normale d'exploitation (RN) :	12.20 mNGG
<input type="checkbox"/> Niveau amont au module :	13.04 mNGG
<input type="checkbox"/> Niveau amont pour la crue de projet (PHE = Q100) :	15.96 mNGG
<input type="checkbox"/> Hauteur de chute brute maximale:	3.95 m
<input type="checkbox"/> Débit d'équipement :	143 m ³ /s
<input type="checkbox"/> Puissance maximale brute (PMB) :	4.5 MW
<input type="checkbox"/> Production estimée :	28 GWh / an

1.2. CADRE ADMINISTRATIF ET REGLEMENTAIRE

Le projet dans sa globalité est soumis aux dispositions du Code de l'Environnement et soumis à autorisation au titre de la Loi sur l'Eau (installation hydroélectrique au fil de l'eau et de moins de 4.5 MW). Il fait donc l'objet d'un dossier de demande d'autorisation comportant notamment une étude d'impact. Il est également soumis à enquête publique.

1.3. OBJECTIF DE L'OPERATION

La mission de conception qui a été confiée à Hydrostadium concerne les ouvrages de franchissement pour les pirogues et les poissons dans les deux sens. Ce rapport technique sur les ouvrages de franchissement, de niveau « avant-projet sommaire » consiste en une annexe de l'avant-projet définitif (APD) d'Artelia et détaille spécifiquement les ouvrages de franchissement en vue d'une soumission du projet à enquête publique d'ici fin 2017.

2. DONNEES D'ENTREE

2.1. DOCUMENTS DE REFERENCE

Les documents de référence sont récapitulés dans le tableau ci-après qui permet par ailleurs de contextualiser la présente étude par rapport aux précédentes études et à l'historique de l'instruction du dossier.

Date	Objet	Acteurs	Référence
Mai 2013	Etudes d' APS [Réf 2 81 0128], pour la « Conception des ouvrages hydroélectriques sur le fleuve Mana », visant à proposer 3 solutions technico-économiques.	ARTELIA	[Réf.1]
Novembre 2013 Janvier 2014	Analyse du Dossier d'autorisation pour l'ouvrage hydroélectrique de Saut Belle Etoile sur le fleuve de la Mana, déposé le 27/09/2013 : courriers de Jonathan Sam en date du 15/11/2013 [n°2013-0812] et 20/01/2014 [n°2014-2].	Préfet Guyane Police de l'Eau	[Réf.2.1] + [Réf.2.2]
Mars 2014	Etudes d' APD [Réf 8 21 0128] pour l'aménagement hydroélectrique sur le site de Belle Etoile. Deux solutions possibles pour le franchissement des pirogues et des poissons sont présentées : <ul style="list-style-type: none"> ■ En solution de base, un seul ouvrage consistant en une passe mixte permettant le franchissement des poissons (montaison) et des pirogues (double sens). ■ En solution alternative, deux ouvrages distincts avec une passe à bassins successifs à fente verticale (ou rivière de contournement) et une écluse à pirogues. 	ARTELIA	[Réf.3]
Juin 2015 Août 2016	Analyse du Dossier d'autorisation et des compléments apportés lors de l'Instruction : courriers de Jonathan Sam en date du 16/06/2015 [n°2015-618] et 11/08/2016 [n°2016-719].	Préfet Guyane Police de l'Eau	[Réf.4.1] + [Réf.4.2]
24 mars 2017	Avis technique [n°2017-165] de JM. DITCHE, S.RICHARD, D. BARIL relogé par la police de l'eau en mai 2017 suite aux « réponses du pétitionnaire aux demandes de compléments de la DEAL du 11/08/2016 ».	AFB	[Réf.5]
22 juin 2017	Courrier déclarant le <u>Dossier complet mais irrégulier</u> , qui devra être présenté en enquête publique d'ici le 22/12/2017 (délai de 6 mois) en apportant des précisions aux éléments demandés, notamment par l'AFB.	Préfet Guyane Police de l'Eau	[Réf.6]
28 juin 2017	Remise d'une offre [DS1706036_V2] pour la réalisation d'un document d'étude APS pour la conception des ouvrages de franchissement.	Hydrostadium	[Réf.7]

En parallèle de cette étude, des échanges avec l'AFB ont été réalisés et ont conduit à :

- Une réunion téléphonique le 11/09/2017 avec un compte-rendu associé : **[Réf.8]**.
- Un avis de l'AFB sur le document d'étude provisoire transmis le 07/09 : « Compléments sur les dispositifs de rétablissement de la continuité piscicole et le franchissement des pirogues », avis technique [n°D2017-148] de JM. DITCHE, S. RICHARD, D. BARIL en date du 4 octobre 2017 : **[Réf.9]**.

2.2. BIBLIOGRAPHIE

- Documents relatifs aux passes à bassins :
 - **[Réf.A]**: Contribution of experimental fluid mechanics to the design of vertical slot fish passes - R.W. Wang, L. David, M. Larinier - ONEMA 2010.
- Documents relatifs aux prises d'eau ichtyocompatibles :
 - **[Réf.B]** : Guide pour la conception des prises d'eau ichtyocompatibles pour les petites centrales hydroélectriques - D.Courret et M.Larinier - Novembre 2008.
 - **[Réf.C]** : Définition des prises d'eau ichtyocompatibles - Pertes de charge au passage des plans de grille inclinés ou orientés dans des configurations ichtyocompatibles et champ de vitesse à leur approche – S.Raynal, L.Chatellier, L.David, D.Courret, M.Larinier – Avril 2012.
 - **[Réf.D]** : La dévalaison des migrateurs amphihalins au niveau des petites centrales hydroélectriques – Note de positionnement technique de la délégation interrégionale Sud-ouest de l'Onema – M.Chanseau, M.Larinier, D.Courret, N.Bordes – Octobre 2012.
 - **[Réf.E]** : Définition des prises d'eau ichtyocompatibles - Etude de l'alimentation en débit et du positionnement des exutoires de dévalaison au niveau plans de grille inclinés ou orientés dans des configurations ichtyocompatibles – S.Raynal, L.Chatellier, L.David, D.Courret, M.Larinier – Janvier 2013.

2.3. LOCALISATION ET CONTRAINTES D'ACCES (D'APRES [REF.3])

Le projet se situe au droit de Saut Belle Etoile au nord de la Guyane.



Figure 1 – Localisation du projet à Saut Belle Etoile

L'aménagement hydroélectrique est placé sur le fleuve Mana. La centrale et les ouvrages de franchissement et d'accès sont prévues en rive gauche du futur barrage.

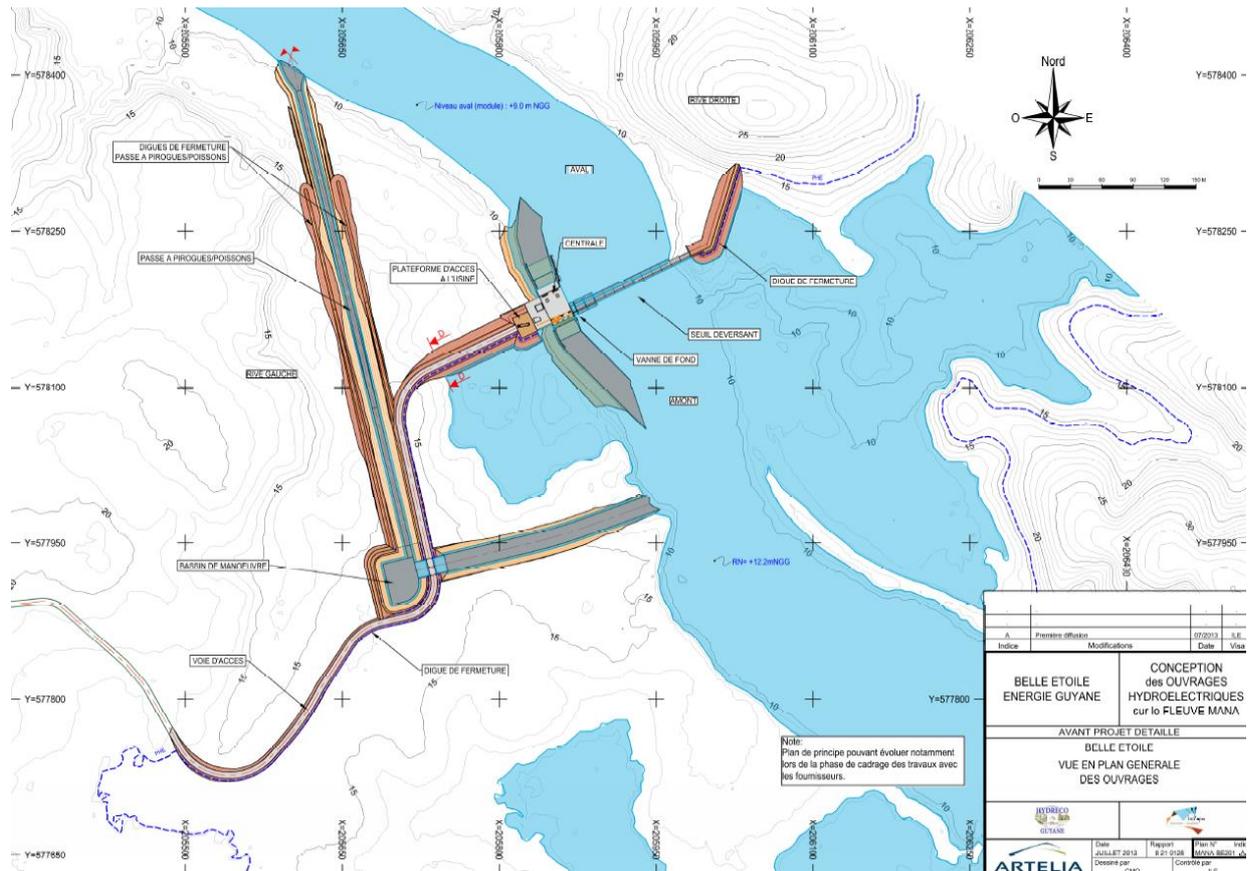


Figure 2 – Vue en plan générale des ouvrages

Extrait du plan APD d'ARTELIA de juillet 2013 n° MANA-BE201 ind.A

A cause de la densité de la végétation et en l'absence d'un réseau routier fiable et adapté dans ce secteur, l'accès à la Mana se fait essentiellement par voie d'eau.

Le principal accès au secteur nord du fleuve Mana est la route nationale 1, reliant, d'ouest en est, St Laurent du Maroni à Cayenne, et qui croise le cours d'eau au droit du Saut Sabbat.

Plus au sud il n'existe pas de route accédant au fleuve. Il existe aussi un réseau de pistes utilisées par l'ONF, mais ce n'est pas du tout utilisable.

Ainsi les deux moyens d'accès à la zone du projet sont :

- La voie aérienne, depuis l'héliport de Saut Sabbat, qui se situe à une vingtaine de kilomètres à vol d'oiseau ;
- Le fleuve par pirogues.

2.4. TOPOGRAPHIE (D'APRES [REF.3])

Le système de référence est le RGFG 95 pour les coordonnées planimétriques. Les élévations sont rattachées en altimétrie au système de nivellement général guyanais NGG77 (noté NGG dans la suite du document).

Les données topographiques à disposition sur le secteur d'étude consistent en un levé topographique LIDAR sur les berges, des profils bathymétriques et des levés de point terrestres datant de 2012.

A ce stade il est estimé que le degré de précision en altimétrie des levés bathymétriques est de l'ordre de 7 à 10 cm.

2.5. GEOLOGIE / GEOTECHNIQUE

A ce stade l'implantation générale des ouvrages projetés réalisée par Artelia est uniquement basée sur l'analyse des cartes géologiques et des observations in-situ. En première approche, il est fait l'hypothèse que sous l'emprise du seuil du barrage le rocher (granite) est affleurant ou sous une très faible couverture.

Pour les futurs stades d'études il sera indispensable de prévoir des investigations géotechniques afin de réaliser la conception des ouvrages.

2.6. SISMICITE

L'ensemble de la Guyane se trouve dans une zone sismique classée 1 « très faible ». L'arrêté du 22 octobre 2010 relatif aux règles de construction parasismiques précise que pour cette zone aucune exigence n'est demandée.

2.7. HYDROLOGIE DE LA MANA

Le rapport APD d'Artelia (cf. [Réf.3]) fournit les données hydrologiques utiles au projet global. Egalement, le site de la Banque Hydro (cf. www.hydro.eaufrance.fr) a été consulté pour obtenir des données complémentaires sur la station de Saut Sabbat.

Dans les paragraphes ci-après sont récapitulées les données utiles pour la conception des ouvrages de franchissement.

2.7.1. Stations et bassins versants

La superficie annoncée du bassin versant de la Mana à Belle Etoile est de 10 010 km², contre 10 385 km² à la station de Saut Sabbat (cf. base de donnée Carthage établie par l'IGN, d'après [Réf.3]).

2.7.2. Débits classés

Les débits classés de la Mana à Saut Sabbat sont rassemblés dans le tableau ci-dessous.

Fréquence	0.99	0.98	0.95	0.90	0.80	0.70	0.60	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01
Q (m ³ /s)	971	877	740	618	474	381	304	250	204	158	112	73.1	59.7	47.70	37.2

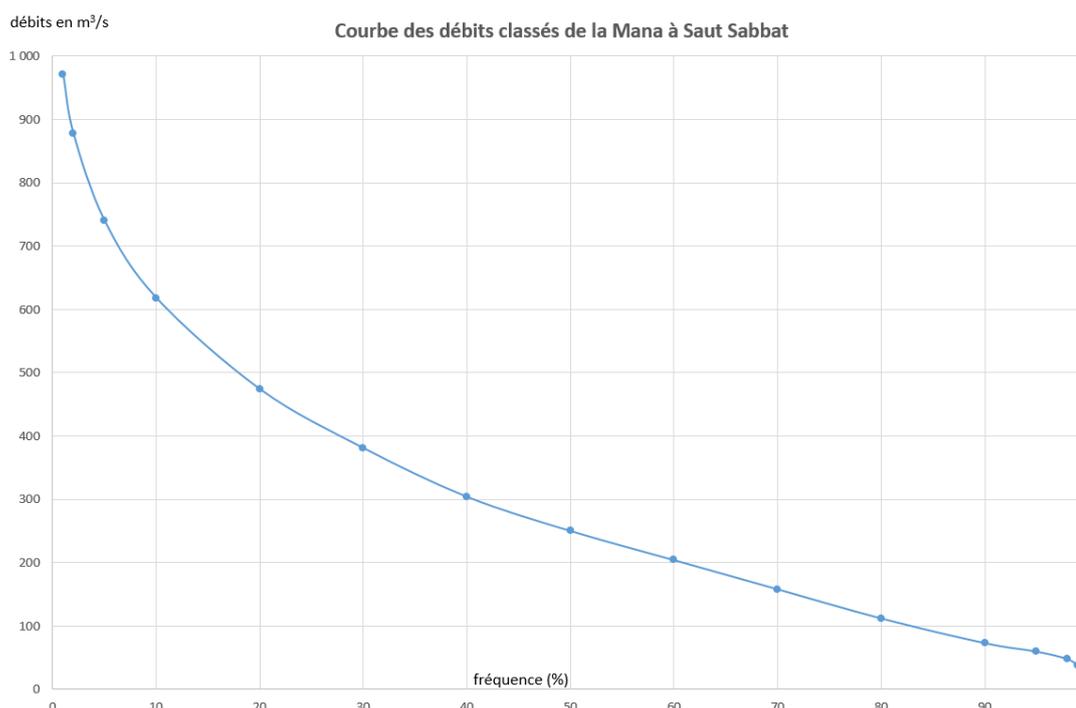


Figure 3 – Courbe des débits classés de la Mana à Saut Sabbat

Le module de la Mana au droit de Saut Sabbat est 315 m³/s. Le module de Saut Belle Etoile est quant à lui estimé à 305 m³/s.

2.7.3. Variabilité intra-annuelle

La saison humide avec un débit moyen journalier supérieur à 400 m³/s s'étale sur la période d'avril à juin. La saison sèche, avec des débits inférieurs à 200 m³/s couvre la période de septembre à décembre.

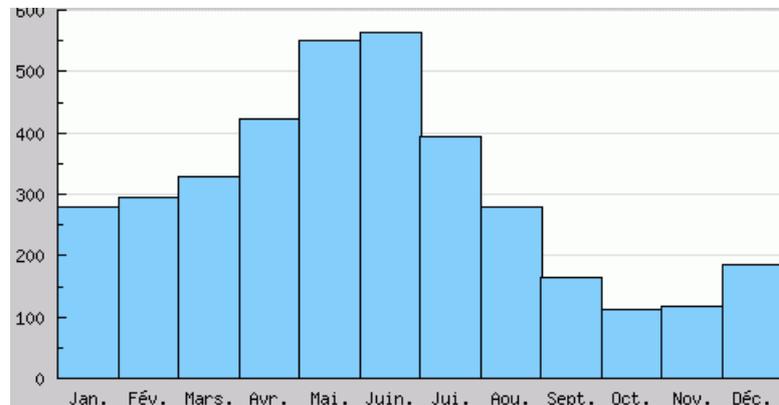


Figure 4 – Ecoulement mensuel en m³/s de la Mana à Saut Sabbat (source Banque Hydro)

2.7.4. Débits de crue

Les débits maximums de crue à Belle Etoile pour diverses périodes de retour sont (cf. [Réf.3]) :

Période de retour	2 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Q (m³/s)	924	1215	1332	1478	1585

2.7.5. Débit d'étiage de référence QMNA5

En l'absence de données sur les débits d'étiage à Saut Belle Etoile, il a été considéré en première approche que le débit mensuel quinquennal sec (QMNA5, débit minimum se produisant en moyenne une fois tous les cinq ans) à Saut Belle Etoile était équivalent à celui observé à Saut Sabbat, soit **60 m³/s** (source Banque Hydro).

2.8. CARACTERISATION HYDRAULIQUE DU SITE

2.8.1. Débit réservé

Le débit réservé de l'aménagement projeté est de 30.5 m³/s, correspondant au 1/10^{ème} du module.

2.8.2. Fonctionnement hydraulique de l'aménagement

L'ouvrage hydroélectrique est au fil de l'eau. Le débit maintenu dans la rivière est égal à la totalité du débit hydrologique. Comme il n'y a pas de tronçon court-circuité la contrainte du débit minimum sera toujours respectée.

Le débit d'équipement correspondant à une PMB de 4.5 MW est de 143 m³/s.

Dans l'APD les turbines ont été dimensionnées pour un débit unitaire de 86.5 m³/s. La plage de hauteur de chute nette de fonctionnement est comprise en 3 et 4 m.

Avec deux groupes bulbes, la centrale sera en mesure de fonctionner à partir d'un débit de la Mana de 43 m³/s (débit d'armement, correspondant à environ 50% du débit nominal d'une turbine)

D'autre part la centrale sera arrêtée à partir de la crue biennale (Q2), soit 924 m³/s.

Le turbinage à plein régime s'effectuera donc pour des débits de la Mana compris entre 143 et 924 m³/s ce qui correspond, d'après la courbe des débits classés, à plus de 2/3 du temps de l'année.

2.8.3. Loi hauteur-débit au droit de l'aménagement

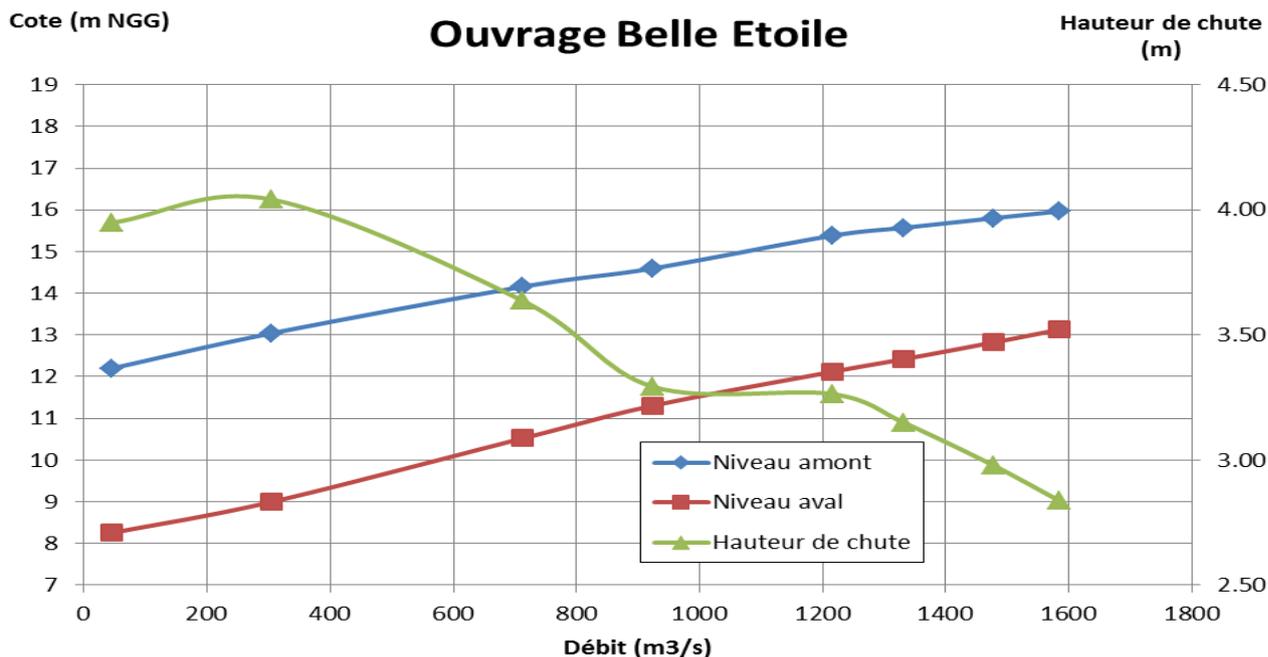


Figure 5 – Loi Hauteur-débit au droit de l'aménagement de Saut Belle Etoile

2.9. PEUPLEMENT PISCICOLE

Afin d'être exhaustifs, il est fait l'hypothèse d'un peuplement piscicole varié, composé à la fois :

- De petites espèces dont les capacités de nage sont très limitées et n'ayant pas de comportement de saut ;
- De poissons de très grande taille.

Ces données impliqueront les points suivants pour la conception du dispositif de montaison :

- Dispositif présentant des chutes et des vitesses maximales faibles pour les petits poissons,
- Largeur de passage importante et tirant d'eau relativement important pour les grands poissons.

Les préconisations détaillées seront précisées ultérieurement dans le document.

3. DESCRIPTION DES SOLUTIONS TECHNIQUES POUR LE FRANCHISSEMENT DES PIROGUES ET DES POISSONS EN MONTAISON

3.1. RECAPITULATIF DES ETUDES ANTERIEURES (CF. [REF.3])

3.1.1. Ouvrage prévu pour le franchissement des pirogues et des poissons en montaison

L'ouvrage de franchissement prévu initialement consiste en un ouvrage mixte poissons – pirogues présentant les caractéristiques suivantes :

- 1 seul ouvrage mixte dans le souci d'optimisation et de mutualisation des aménagements ;
- Pente faible (pente moyenne chenal : 0.85 %) ;
- Chutes de 0.3 m entre chaque bassin ;
- Optimisation du tracé dans des secteurs où le terrain naturel est le plus haut : limitation du linéaire et de la hauteur des digues latérales (< 4m) avec à un ouvrage enterré dans le TN ; maximisation du volume de déblais pour la réalisation des remblais (dignes passe) avec équilibre déblais-remblais.
- Entrée de la passe placée à environ 330 m en aval de la microcentrale.
- Longueur totale d'environ 700 m : 480 m de passe à pirogues rectiligne complétée par un canal d'amenée amont de 210 m.
- Bassins de 35 m de longueur et de 5 m de large au fond avec berges inclinées 2 H / 1 V ;
- Dalot en béton permettant le passage de l'entrée de la passe sous la piste d'accès.

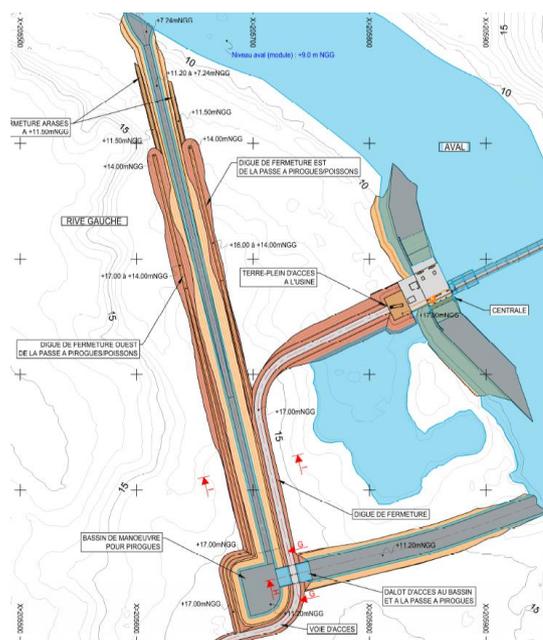


Figure 6 – Extrait du plan APD d'ARTELIA de juillet 2013 n° MANA-BE210 ind.A

Les paramètres de fonctionnement annoncés dans l'APD sont les suivants :

- Débit mini d'alimentation : 6 m³/s ;
- Hauteur d'eau mini de 1.2 m ;
- Vitesse moyenne d'écoulement de 0.7 m/s environ ;
- Vitesse maximale d'écoulement au droit des seuils de 1.7 m/s environ ;
- Puissance volumique dissipée de 100 W/m³ maximum.

3.1.2. Avis des services instructeurs

Les dossiers présentés entre 2013 et 2016 ont été jugés incomplets et irréguliers par la Police de l'Eau (Cf. [Réf. 2 et 4]). Par contre, le dernier courrier (Cf. [Réf. 6]) a déclaré le dossier complet en date du 22/06/2017, imposant ainsi une programmation du dossier pour une enquête publique avant 22/12/2017 (délai de 6 mois).

Ci-dessous est faite la synthèse des remarques de l'ONEMA puis l'AFB émises sur le projet de montaison au travers des divers courriers :

Objet	Référence
Dispositif commun pour les pirogues et les poissons ne permettant pas d'assurer une réelle continuité écologique : zones de 4 hectares à l'aval immédiat du seuil et de plus de 9 hectares à l'amont immédiat constituant des impasses pour les poissons.	Réf. 2.1

Les avantages du jumelage des deux passes qui sont présentés ne sont pas recevables (minimisation de l'impact en terme de destruction de ripisylve ; largeur importante de l'entrée de la passe facilitant le repérage de l'embouchure par les poissons ; garantie de maintenir un niveau d'eau minimum en tout temps.	Réf. 2.1
Demande d'aménager des pentes douces avant et après chaque seuil de la passe à pirogues afin de permettre aux poissons « suceurs » de les franchir sans subir les effets du courant. Il est précisé que cette mesure n'est pas une substitution à la mise en place d'une passe à poissons, mais plutôt une optimisation de l'ouvrage.	Réf. 2.2
Avec le retour d'expérience de la passe à pirogues de Saut Maman Valentin, il convient d'apporter des précisions sur le fonctionnement de l'ouvrage en fonction des différents régimes d'eaux (au module, à l'étiage, en crue décennale et en crue centennale) et d'indiquer le débit entrant dans la passe en fonction du débit du cours d'eau.	Réf. 2.2
Informations incomplètes concernant : le nombre, l'emplacement, la réalisation et le dimensionnement des ouvrages de franchissement.	Réf. 4.1
Demande s'il a été étudié la possibilité de mettre en place une passe à double fentes verticales avec jet orienté dimensionné pour un débit de 2 m ³ /s.	Réf. 4.1
Demande de calculs, de simulations du fonctionnement hydraulique et d'abaques de fonctionnement selon différents débits : étiage, QMNA5, module et module*2.	Réf. 4
Demande de plans : profil en long au 1/100 ^{ème} et profil en travers au 1/20 ^{ème} .	Réf. 4
Le débouché de la passe mixte calé à 320 mètres en aval de l'usine est trop éloigné du point de plus haute remontée des poissons migrateurs, et malgré son débit d'alimentation, la plupart des poissons ne pourront pas en trouver l'entrée en raison du mauvais dimensionnement .	Réf. 4.2
Il convient de ramener la hauteur de chute entre bassins à 0.20m (plutôt que 0.30m annoncée) dans une passe à poisson indépendante de la passe à pirogues.	Réf. 4.2
Le fort marnage du niveau d'eau aval va faire chuter rapidement les vitesses au niveau de l'échancrure aval. Dans ces conditions et compte tenu des débits concurrents issus de la centrale, l'attractivité du dispositif sera très faible voire nulle.	Réf. 4.2

En conclusion, afin que le dossier soit régulier, il est indispensable d'apporter des précisions, notamment en prenant en compte des différentes remarques émises par l'AFB dans son dernier avis (Cf. [Réf. 5]), dont les différents éléments sont listés ci-après :

- Fournir les éléments techniques du dimensionnement et des plans détaillés au niveau APS (pour rappel, contenu minimum de l'étude d'impact).
- Quid de la faisabilité de pouvoir positionner l'entrée aval de la passe mixte à proximité de la sortie des turbines tout en conservant le cheminement sécurisé des pirogues dans le même dispositif.
- Soulignement de l'importance du choix du type de configuration des échancrures de la passe mixte : caractéristiques géométriques particulières avec profils rectangulaires ou trapézoïdaux de forme importante nécessitant une modélisation hydraulique spécifique avant d'être en mesure de restituer correctement leur fonctionnement fortement noyé par l'aval.
- Hauteur de chute entre bassins de 30 cm trop sélective voire infranchissable pour les espèces à capacité de nage réduite → objectif d'avoir des chutes maximales de 20 cm.
- Interrogation sur la possibilité de maintenir une chute suffisante en entrée de dispositif sans dispositif de régulation, au regard de l'importance du marnage aval.
- Mesures de suivis pour les dispositifs de franchissement de montaison devant s'inspirer des réflexions en cours sur Saut Maman Valentin. Précise également qu'il n'y a pas de possibilité de piégeage dans une passe mixte à pirogues.

- Précise en conclusion que les solutions à décliner puis à détailler sont globalement du même type que celles retenues à Saut Sonnelle.

3.2. PERFORMANCES ATTENDUES POUR LES OUVRAGES DE FRANCHISSEMENT

3.2.1. Performances fixées par le Maitre d'ouvrage VOLTALIA

Concernant la continuité piscicole, les ouvrages de franchissement doivent répondre aux exigences des services instructeurs, notamment l'AFB, qui ont été énoncées précédemment.

Concernant le franchissement des pirogues, la navigation doit être possible en sécurité toute l'année, dans les deux sens, pour les pirogues, selon les prescriptions suivantes :

- Vitesse maximale d'écoulement des eaux : 2 m/s
- Chute interbassin : 50 cm
- Tirant d'eau minimum pour la navigation : 1 m
- Pirogues de dimensions courantes 6 à 12 m de longueur pour une largeur de l'ordre 1 à 1.2 m, avec des dimensions maximales de 17 m par 1.8 m pour les pirogues de fret.

Les contraintes d'implantation et de géométrie des ouvrages sont quant à elles les suivantes :

- Caractère rectiligne de la passe mixte : il faut pouvoir apercevoir l'extrémité opposée de l'ouvrage réciproquement depuis l'entrée et la sortie.
- Un bassin de croisement des pirogues est à prévoir tous les 10 bassins environ.
- Nécessité de prévoir des ouvrages connexes pour les accès et la protection provisoire et définitive des ouvrages : chemin de halage jouxtant la passe mixte côté berge et digues de fermeture implanté à la cote 16 NGG.

A noter que mise à part les dimensions des pirogues fournies dans l'APD (cf. [Réf3], les prescriptions suscitées sont issues des données de la conception de la passe mixte de Maripasoula.

3.2.2. Performances fixées par l'AFB

Les avis de l'AFB sur le projet de Saut Belle Etoile ainsi que les différents échanges lors de la conception des ouvrages de franchissement de Saut Sonnelle ont permis de définir les critères de fonctionnalité suivants pour le franchissement piscicole :

- Entrée piscicole implantée au plus près de la zone d'attrait des poissons migrateurs constituée de la sortie des turbines (plus précisément de 7 à 10 mètres), garantie de l'attractivité du dispositif.
- Chute interbassins de 20 cm.
- Débit nominal à faire transiter dans la passe à poissons de 2 m³/s.
- Puissance volumique maximum dans les bassins : 150 W/m³.
- Nécessité de macrorugosités en fond de bassins.
- Fentes de 50 cm minimum.
- Configuration de l'entrée piscicole avec une vitesse minimale du jet de sortie de 1 à 1.5 m/s.
- Nécessité d'une vanne de réglage si la chute en entrée piscicole n'est pas suffisamment attractive en hautes eaux.

3.3. PLAGES DE FONCTIONNEMENT

Une fois les critères de fonctionnalité hydrauliques clairement définis, il convient de définir les conditions de débits pour lesquelles ces critères doivent être respectés : **la plage de fonctionnement des ouvrages de franchissement doit couvrir à minima les situations allant de l'étiage à deux fois le module ou alors la plage Q10-Q90 couvrant 80% du temps annuel.**

Pour le cas de Saut Belle Etoile on constate que :

- Le débit d'étiage QMNA5 soit 60 m³/s s'avère relativement proche du débit de fréquence 5% ou Q5 (équivalent à une fréquence de dépassement 95%) qui est de 59.7 m³/s.
- Le débit correspondant à 2x le module soit 610 m³/s s'avère relativement proche du débit de fréquence 90% ou Q90 qui est de 618 m³/s.

La plage fonctionnement des ouvrages de franchissement de Saut Belle Etoile est donc [Q5-Q90] qui couvre 85% du temps annuel. Les principaux débits et niveaux d'eau selon les différentes situations caractéristiques sont récapitulés dans le tableau ci-après.

Situation	Débits Mana	DX%	Niveau amont	Niveau aval	Hauteur chute
Etiage QMNA5	60 m ³ /s	D5	12.20 mNGG (*) <i>RN Saut Belle Etoile</i>	8.25 mNGG (*) <i>RN Saut Maman Valentin</i>	3.95 m
Module	305 m ³ /s	D60	13.04 mNGG (*)	9 mNGG (*)	4.04 m
2x Module	610 m ³ /s	D90	13.9 mNGG (**)	10.1 mNGG (**)	3.80 m
Crue biennale Q2 Centrale arrêtée	924 m ³ /s	D99	14.6 mNGG (**)	11.3 mNGG (**)	3.30 m
Crue de projet Q100 = PHE	1 585 m ³ /s	—	15.96 mNGG (*)	13.13 mNGG (*)	2.83 m

(*) Cotes données dans le rapport APD d'Artelia. Cf [Réf.3].

(**) Cotes estimées d'après graphique H-Q. Cf. [Figure 4].

Définitions :

D90 signifie un débit dont la fréquence de dépassement annuelle est de 10%.

Q2 est la crue biennale dont la période de retour est de 2 ans et la probabilité d'apparition sur une année est de 50%.

Q100 est la crue centennale dont la période de retour est de 100 ans et la probabilité d'apparition sur une année est de 1%.

Ainsi, sur la plage de fonctionnement de l'ouvrage de franchissement le marnage est de 1.7 m à l'amont et 1.85 m à l'aval et la hauteur de chute totale varie entre 3.80 m et 4.04 m.

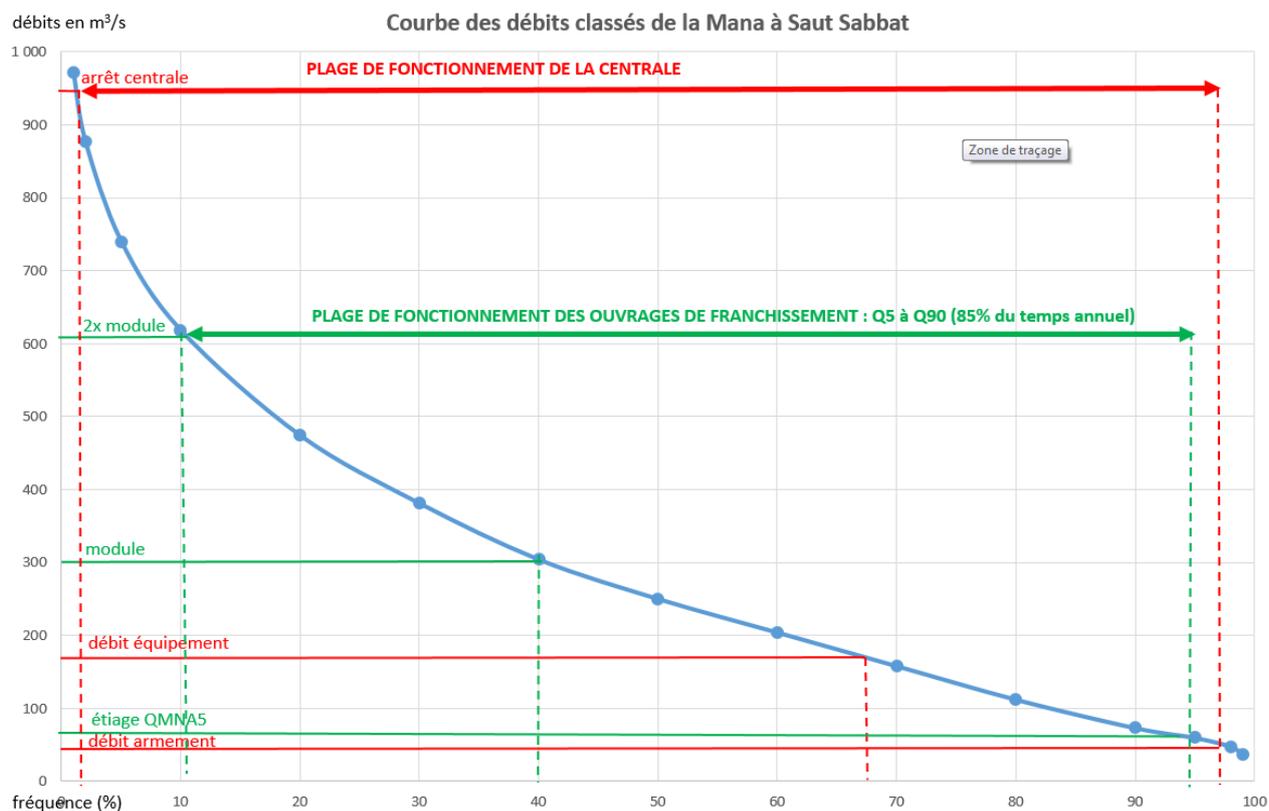


Figure 7 – Plages de fonctionnement des ouvrages

3.4. SOLUTIONS RETENUES

3.4.1. Ouvrage de franchissement des pirogues

Des solutions assez compactes de type chariot treuillé ou écluse permettraient le franchissement des pirogues à la montée et à la descente :

- L'écluse à pirogues consiste en un ouvrage génie-civil de dimensions 30 m x 5 m environ avec des sas et des portes et permettant le franchissement des pirogues à la montée et à la descente.
- Le système de chariot treuillé serait composé d'une rampe d'accès avec des rails de support et de guidage du chariot, ce dernier étant relié à un câble entraînée par une poulie motrice double corps, elle-même entraînée par un motoréducteur électrique.

Ces solutions ne seront pas davantage développées dans ce document car il est demandé par Voltalia un franchissement des pirogues par voie fluviale, par le biais d'**un ouvrage de type « passe à pirogues »**, afin de garantir une libre circulation des différents usagers du fleuve.

3.4.2. Ouvrage de montaison des poissons

Compte-tenu de la hauteur de chute à franchir sur ce site et de la présence de multiples espèces aux capacités de nages variées, les dispositifs potentiellement les plus adaptés pour la montaison piscicole de Saut Belle Etoile sont :

- Soit de type « **rivière artificielle** ».
- Soit de type **passe à bassins**.

Deux solutions sont donc présentées dans ce document d'étude :

- 1) Une solution d'**ouvrage mixte permettant le franchissement des pirogues et des poissons**.
- 2) Une solution avec les **deux fonctionnalités séparées**, avec une passe à pirogues en rive et une passe à bassins à fentes verticales située à proximité de la centrale.

3.5. PRESENTATION DE LA SOLUTION « OUVRAGE MIXTE »

3.5.1. Contraintes d'implantation et de dimensionnement

L'ouvrage mixte présente la nécessité de disposer de deux branches à l'aval étant donné que :

- Pour les poissons, il est impératif de disposer d'une entrée piscicole à proximité de la sortie des turbines (7 à 10 m environ).
- La passe à pirogues doit être quant à elle rectiligne.

L'ouvrage est donc constitué de plusieurs parties décrites ci-après :

- « Branche mixte amont » : partie d'ouvrage amont permettant le transit des poissons et des pirogues.
- « Branche piscicole aval » : partie d'ouvrage aval, constituée de bassins, permettant le transit des poissons uniquement et dont le débouché est situé à proximité de la centrale.
- « Branche pirogues aval » : partie d'ouvrage aval, dans l'alignement de celle amont permettant le transit des pirogues et éventuellement des poissons, et dont le débouché est situé à environ 200 m de la centrale.

Il existera donc deux « itinéraires » possibles :

- « Itinéraire pirogues – (poissons) » constitué de la branche mixte amont + la branche pirogues aval ;
- « Itinéraire poissons » constitué de la branche mixte amont + la branche piscicole aval.

Les chutes inter-bassins de chacune des parties sont quant à elle imposées :

- 20 cm maximum pour la « Branche mixte amont » et la « Branche piscicole aval » du fait de la contrainte piscicole,
- 50 cm maximum pour la « Branche pirogues aval ».

3.5.2. Conclusion sur la solution ouvrage mixte

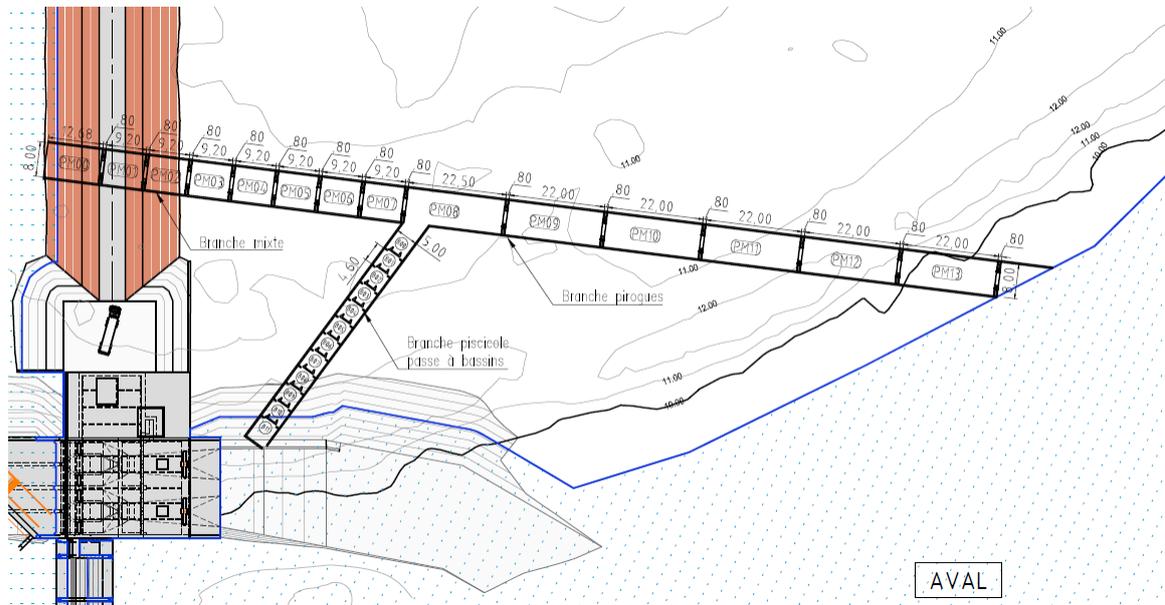


Figure 8 – Plan de principe de la solution « ouvrage mixte »

Etant données :

- La nécessité d'une passe à bassins constituée de 12 bassins, de longueur totale 64 mètres (au lieu de 20 bassins pour une centaine de mètres dans le cas d'un ouvrage passe à bassins indépendant) ;
- La nécessité d'avoir un débit supérieur dans la branche mixte amont (devant alimenter ensuite la branche piscicole aval et la branche pirogues aval) ;
- La longueur de la passe mixte de 220 mètres environ qui n'est pas optimisée ;

La solution de mutualisation des ouvrages piscicoles et pirogues (« ouvrage mixte ») n'est pas à retenir dans le cas de l'aménagement hydroélectrique de Saut Belle Etoile.

Elle ne sera pas davantage développée dans ce document.

3.6. ETUDE DE LA SOLUTION « DEUX OUVRAGES DISTINCTS »

3.6.1. Contraintes d'implantation et de dimensionnement

Cette solution doit tenir compte des éléments suivants :

- Passe à bassins :
 - Compte-tenu de la hauteur de chute maximale de 4.04 m et de la chute interbassins cible (20 cm), 20 bassins sont nécessaires.
 - L'implantation de l'ouvrage est contrainte par le fait que l'entrée piscicole doit être située à proximité de la sortie des turbines (entre 7 et 10 m en aval).
- Passe à pirogues
 - Compte-tenu de la hauteur de chute maximale de 4.04 m et de la chute maximum pouvant être franchie par une pirogue (50 cm) 8 bassins seront nécessaires. Avec des bassins de longueur 20 m minimum, cela donne un ouvrage d'une longueur d'au moins 160 m.

3.6.2. Dimensionnement de la passe à bassins

3.6.2.1. Type de passe

Compte tenu des contraintes du site et des espèces présentes, le type préconisé est une passe à double fentes verticales à jets de surfaces et sans pelle pour le passage des espèces de fond.

3.6.2.2. Paramètres de dimensionnements

Sont connus :

- Le débit de dimensionnement : $Q = 2 \text{ m}^3/\text{s}$,
- La puissance dissipée maximale dans les bassins : $P_v = 150 \text{ W/m}^3$,
- La hauteur de chute maximale : 20 cm,
- La largeur minimale des fentes interbassins : 50 cm.

3.6.2.3. Caractéristiques des communications inter-bassins

La communication entre les bassins sera réalisée par deux fentes latérales profondes (sans pelle) dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Largeur : $b = 50 \text{ cm}$ soit 1 m pour les 2 fentes.
- Charge sur fente (étiage) : 1.3 m.
- Altitudes fentes = cote radier soit pour la 1^{ère} fente 10.9 mNGG.

3.6.2.4. Dimensions des bassins

Pour les passes à bassins à fentes verticales, les critères de conception donnent une longueur de bassin **L** de l'ordre de 10 (voire 9) à 12 fois la largeur de la fente **b**, soit une longueur de bassin comprise entre 4.5 et 6.0 m.

La largeur **B** est quant à elle de l'ordre de 9 à 10 fois la largeur de la fente **b**, soit une largeur de bassin comprise entre 4.5 et 5.0 m.

Le tirant d'eau moyen étant de 1.2 m pour la situation d'étiage, et afin de respecter le critère de puissance volumique dissipée de 150 W/m^3 , les dimensions minimums pour les bassins courants sont de 4.6 m de longueur par 5.0 m de largeur.

Dans son dernier avis (cf.[Réf.9]), l'AFB conseille de viser une puissance dissipée plutôt de l'ordre de 120 W/m^3 , afin de garantir des conditions de turbulence acceptables pour les plus petites espèces. Cela porte la longueur standard des bassins à 5,5 m, soit 11 fois la largeur de la fente **b**.

L'altimétrie du dispositif est donc basée sur un décalage de 0,20 m entre deux cloisons successives. Seul le premier bassin (B0) est plat, car il n'y a pas de chute en entrée hydraulique.

3.6.2.5. Coefficient de débit des fentes

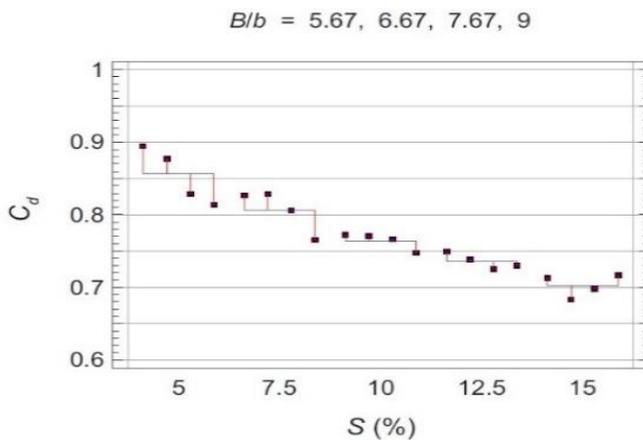


Figure 9 – Évaluation du coefficient de débit

Les valeurs du coefficient de débit C_d intervenant dans le dimensionnement des passes à fentes verticales varient en général de 0.7 à 0.9 et sont liés à la pente du radier S et à la largeur des bassins (Cf. [Réf. A]).

Au vue de la pente S (environ 4%) le coefficient est estimé entre 0.8 et 0.9

Nous retiendrons $C_d = 0.8$ pour l'APS.

3.6.2.6. Caractéristiques dimensionnelles des fentes verticales et des déflecteurs

Les fentes et les déflecteurs présentent une géométrie particulière et des dimensions auxquelles il ne faut pas déroger, car elles sont garantes de la bonne hydraulicité dans les bassins.

D'après les travaux sur les écoulements dans les passes à fentes verticales réalisés par l'Institut P' de Poitiers (Travade 2007), les caractéristiques retenues pour définir les dimensions des déflecteurs sont :

- Rapport entre la longueur du déflecteur central et la largeur de la fente $A/b = 2$
- Rapport entre la longueur du déflecteur latéral et la largeur de la fente $a/b = 1.3$
- Inclinaison de la fente par rapport à l'axe du bassin $\beta = 45^\circ$ et inclinaison de la face interne du déflecteur central par rapport à l'axe du bassin $\alpha = 20^\circ$.

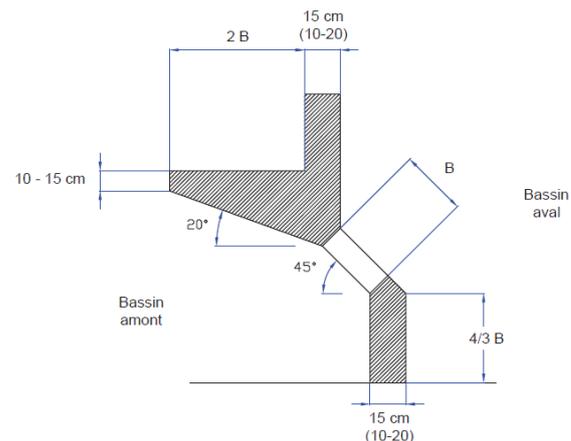


Figure 10 – Schéma type pour les dimensions des fentes verticales et déflecteurs

3.6.2.7. Caractéristiques de l'entrée piscicole

Au niveau de l'échancrure de l'entrée piscicole, une échancrure est dimensionnée pour avoir une largeur plus importante au niveau de l'entrée des poissons et un jet carré plus marqué :

- Largeur 1.2 m ;
- Seuil calé 25 cm au-dessus du radier de la passe ;
- Coefficient de débit C_d de 0.8 (moyenne entre 0.7 : conditions d'approche uniforme et contraction importante et plus de 0.9 dans le cas d'un jet bien formé).

Au futur stade d'étude (APD) il sera réalisé une étude plus fine des conditions de noyage au niveau de l'entrée piscicole ainsi que du rapport p / h_1 : cela permettra de voir si la formule fente ou la formule échancrure est la plus adaptée pour le dimensionnement de l'entrée piscicole.

En tout état de cause, s'il est confirmé qu'une vanne n'est pas obligatoire pour respecter les chutes définies au niveau de l'entrée piscicole, il sera prévu la possibilité de régler en hauteur la chute aval à l'aide de madriers insérés dans le génie civil (rainures au niveau de la fente aval), afin d'avoir une sécurité compte tenu des limites des formules utilisées.

3.6.2.8. Macrorugosités au fond des bassins

Le fond des bassins doit être revêtu de macrorugosités afin d'obtenir une rugosité suffisante et adaptée aux petites espèces et espèces benthiques, selon les préconisations de l'AFB énoncées ci-après :

- Largeur face à l'écoulement de 20 cm (15 à 25 cm) ;
- Hauteur de l'ordre de 15 à 20 cm ;
- Espacements longitudinaux et transversaux de l'ordre de 50 cm (du centre des rugosités).

3.6.3. Equipements complémentaires de la passe à bassins

Les équipements suivants seront mis en place au niveau de la passe à bassins :

- Une grille de protection à l'amont de l'ouvrage afin d'empêcher l'entrée des embâcles.
- Un système de batardeau en amont et en aval de l'ouvrage, permettant sa mise hors d'eau et sa maintenance.
- Un dispositif simple et rustique de type ligne de vie pour accéder en bordure de l'ouvrage en toute sécurité.
- Des mesures de niveau d'eau afin de contrôler facilement son fonctionnement : dans les bassins d'entrée hydraulique et d'entrée piscicole, et à l'aval de la passe à bassins.
- [Un dispositif de piégeage avec un système de levage adapté au niveau du bassin amont.](#)

Ces éléments seront étudiés lors des phases d'études ultérieures.



Figure 11 – Exemple de cheminements sur des passe à bassins : les Lorrains à gauche) et le Bazacle (à droite)

3.6.4. Modélisation de la passe à bassins

La modélisation hydraulique est réalisée avec le logiciel Cassiopée 3.0 spécifiquement conçu par l'ONEMA pour le calcul des passes à poissons, et notamment des passes à bassins.

Les simulations hydrauliques sont réalisées pour différents débits clés : à l'étiage (QMNA5), au module et à deux fois le module.

3.6.4.1. Synthèse des résultats des simulations hydrauliques

Les résultats de la modélisation Cassiopée sont donnés en Annexe du document.

[A noter que les résultats présentés sont ceux de la solution « initiale » avec des bassins de 4.6 m de longueur par 5,0 m de largeur, pour une puissance dissipée cible de 150 W/m³.](#)

[Au stade ultérieur des études, de nouvelles modélisations seront fournies, avec les largeur et longueur des bassins révisées, avec pour objectif une puissance dissipée cible de 120 W/m³.](#)

Sont récapitulés dans le tableau ci-après les paramètres de fonctionnement hydraulique de l'ouvrage :

- Le débit transitant dans l'ouvrage : **Q en m³/s** ;
- La puissance dissipée volumique dans les bassins (amont / aval) : **Pv en W/m³** ;
- Le tirant d'eau moyen dans les bassins (amont / aval) : **Tmoy en m** ;
- La chute interbassins (amont / aval) : **Δh en cm** ;
- La vitesse d'écoulement maximum (au niveau des seuils / dans les bassins) : **V en m/s**.

Situation hydrologique	Q (m ³ /s)	Pv (W/m ³)	Tmoy (m)	Δh (cm) inter-bassins	V (m/s)	Δh (cm) entrée piscicole	V (m/s) entrée piscicole
Etiage	2.1	148 à 134	1.20 à 1.25	20 à 18.9		19.9	2.0
Module	3.4	143 à 152	2.05 à 1.99	20 à 20.8		19.2	1.9
2x Module	4.7	137 à 120	2.90 à 3.05	19.8 à 18.2		14.7	1.7

3.6.4.2. Analyse des résultats

Les critères de dimensionnement de la passe à bassins sont bien vérifiés sur toute la plage de fonctionnement de l'ouvrage, avec notamment $P/V \leq 150 \text{ W/m}^3$ et $\Delta H \leq 20 \text{ cm}$.

Concernant la hauteur de chute en entrée piscicole, elle est de 20 cm à l'étiage (avec une vitesse de jet d'entrée de 2 m/s environ), puis diminue progressivement pour atteindre environ 15 cm à 2x le module. Le fonctionnement en hautes eaux est très acceptable avec un jet encore attractif pour les poissons : largeur 1,2 m, débit 4.7 m³/s, vitesse 1.7 m/s.

La chute étant suffisamment attractive sur toute la gamme de débit de la plage de fonctionnement, il n'est donc pas nécessaire d'équiper l'ouvrage d'une vanne effaçable asservie en entrée piscicole.

Un plan spécifique (cf. annexe) représente les niveaux d'eau dans chaque bassin pour les différents débits clés (étiage, module et 2x le module).

A noter que la hauteur des cloisons inter-bassins est calée de telle manière qu'il y ait une marge de 15 à 30 cm au-dessus du niveau d'eau maximum dans les bassins : elles font ainsi 3.2 m de hauteur.

3.6.5. Implantation de la passe à bassins

La passe est implantée telle que l'entrée piscicole soit positionnée entre 7 et 10 mètres en aval des turbines.

Le développé des bassins aval et l'orientation de l'entrée piscicole est telle que le jet de sortie soit parallèle aux écoulements turbulents issus des turbines.

L'implantation des bassins courants pourra légèrement évoluer au futur stade d'étude, notamment suite à l'étude de la conception génie-civil des ouvrages.

3.6.6. Caractéristiques de la passe à pirogues

3.6.6.1. Nombre de bassins

Étant donné que la hauteur de chute interbassins est de 50 cm maximum, la passe mixte est composée de 8 seuils, permettant une répartition uniforme de la hauteur de chute maximale à l'étiage (4 m).

3.6.6.2. Dimensions des bassins

Étant données les dimensions des pirogues (pour rappel : 6 à 12 m de longueur pour une largeur de l'ordre 1 à 1.2 m, avec des dimensions maximales de 17 m par 1.8 m pour les pirogues de fret), la longueur des bassins retenue est de 20 m minimum. Les bassins font 8 mètres de largeur en moyenne.

Le positionnement de l'entrée et de la sortie hydraulique de l'ouvrage et son caractère rectiligne permettent d'engendrer une passe de longueur 187 m, avec 8 bassins de 23 m de longueur séparés de cloisons de 80 cm de largeur (retour d'expérience de la passe mixte de Maripasoula).

3.6.6.3. Caractéristiques des seuils interbassins – Profil en travers de la passe mixte

Les seuils interbassins sont de forme trapézoïdale (de la même forme que ceux des passes à pirogues de Saut-Maman-Valentin et de Maripasoula) avec une largeur minimale à la base de 2 m.

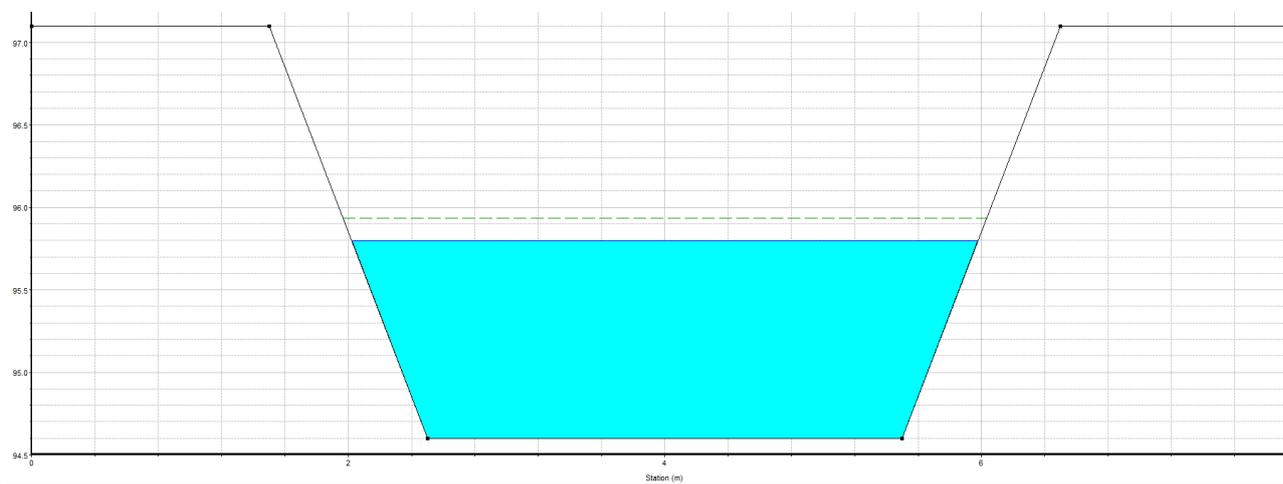


Figure 12 – Géométrie type des seuils interbassins de la passe mixte

3.6.6.4. Profil en long de la passe mixte

Chaque seuil présente une chute de 50 cm avec le suivant, et une pelle de 20 cm (hauteur du seuil par rapport au radier).

3.6.6.5. Modélisation hydraulique de la passe à pirogue

La modélisation hydraulique de la passe à pirogues sera réalisée lors des futurs stades d'étude, une fois la validation de la typologie des ouvrages de franchissement.

4. DESCRIPTION DE LA SOLUTION TECHNIQUE POUR LA DEVALAISON DES POISSONS

4.1. RECAPITULATIF DES ETUDES ANTERIEURES (CF. [REF.3])

4.1.1. Ouvrage prévu pour le franchissement des poissons en dévalaison

Au stade APD d'Artelia, aucun ouvrage spécifique n'était prévu pour la dévalaison.

La prise d'eau a été conçue telle que la vitesse d'approche au niveau de la grille soit de l'ordre de 1 m/s (pour 1.2 fois la valeur du débit d'équipement).

A ce stade, elle est équipée de grilles, composées de 4 panneaux de 4,5 mètres de large par 9.5 mètres de hauteur. Les barreaux sont des plats de largeur 50 mm et d'épaisseur 5 mm pour un entraxe de 100 mm.

La cote du pied du plan de grille est de 0.39 mNGG. La cote du sommet du plan de grille est immergée, entre 9.0 mNGG et 9.9 mNGG, selon la légère inclinaison du plan de grille qui n'est pas connue. Ainsi, le plan de grille est immergé d'au moins 2.3 m sous le niveau de retenue normale.

Les grilles sont équipées d'un dégrilleur mobile.

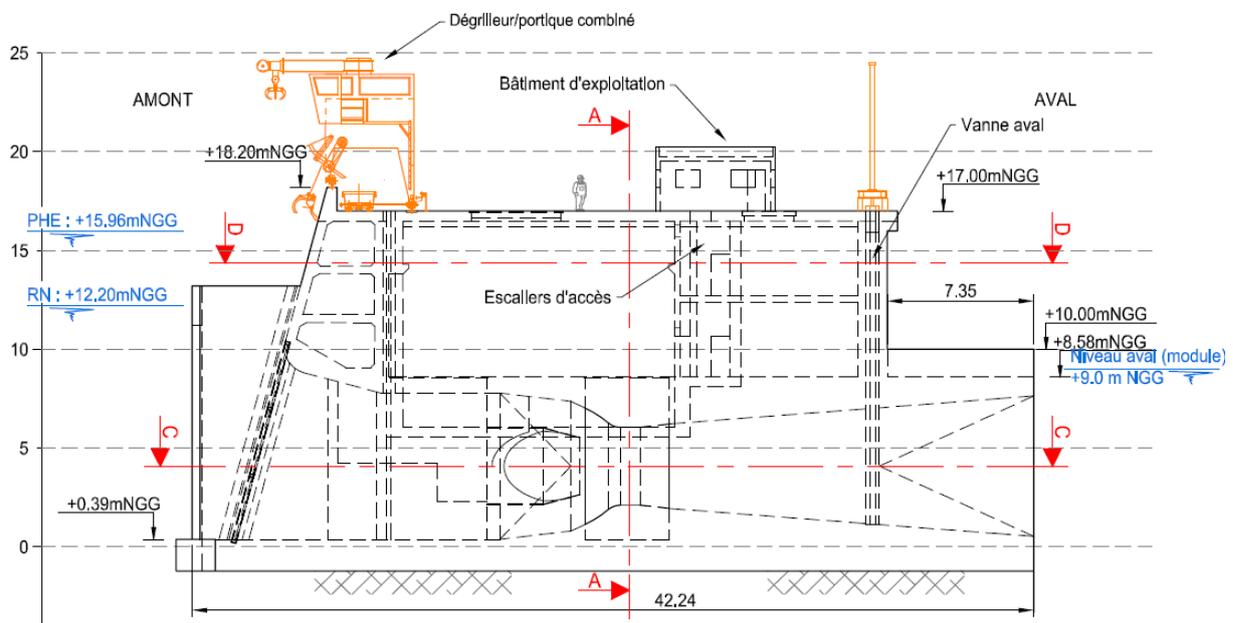


Figure 13 – Vue de côté de la centrale

4.1.2. Avis des services instructeurs

La dévalaison a été mentionnée pour la première fois dans le courrier de la Police de l'Eau [n°2016-719] en date du 11/08/2016 (cf. [Réf.2]). Dans ce courrier est mentionné que l'affirmation sur l'absence d'impact à la dévalaison est injustifiée et sont précisés les éléments suivants :

- Demande d'un plan de grille avec un maillage beaucoup plus fin, n'excédant pas 20 mm (projet avec plan de grille à espacement 100 mm, pouvant éventuellement passer à 60 mm en fonction des résultats d'étude sur la mortalité des poissons à travers l'aménagement de Saut Maman Valentin), associé à un exutoire de dévalaison et un plan de grille orienté.
- S'agissant de la proposition d'exutoire de dévalaison (goulotte) il convient de faire déboucher cet élément en pied de barrage (plutôt que dans le canal de fuite) avec un débit de l'ordre de 3% du débit d'équipement.
- Il est attendu : une note technique complète avec justifications sur le dimensionnement et le fonctionnement du dispositif de dévalaison, reprenant notamment la charge et la vitesse d'écoulement dans les différents éléments du système d'évacuation aval ainsi que le fonctionnement du seuil de contrôle du débit de dévalaison, en fonction des niveaux d'eau amont et aval.

4.2. CONDITIONS INITIALES DE DEVALAISON

4.2.1. Risque de placage contre les grilles ou d'entraînement dans la prise d'eau

Pour le débit maximal d'entonnement de 143 m³/s et une surface en eau du plan de grilles de 171 m², la vitesse d'approche au niveau du plan de grilles est de l'ordre de 0,84 m/s.

Cette vitesse dépasse le critère recommandé par l'AFB qui est de ne pas dépasser une vitesse normale au plan de grille de 0,5 m/s.

4.2.2. Taux de mortalité estimé lors du transit dans les turbines

Au stade APD (cf. [Réf.3]) les caractéristiques des turbines prévues sont les suivantes :

Caractéristiques des turbines bulbes du site de Belle Etoile	
Nombre de turbines	2
Débit unitaire nominal (m ³ /s)	86.5
Puissance nominale (kW)	3050
Hauteur de chute nette nominale (m)	3.9
Vitesse synchrone (tr/min)	136
Diamètre (m)	3.95
Nombre de pales	6 (Hypothèse)

D'après les formules de *Bosc et Larinier 2000* et *Gomes et Larinier 2008*, les mortalités directes estimées, liées aux turbines de la centrale de Saut-Belle-Etoile, sont :

Type et taille du poisson	Mortalité liée au passage dans les turbines (%)
Type smolt 15 cm	5,7 %
Type smolt 30 cm	7,6 %
Type anguille 50 cm	16,0 %
Type anguille 90 cm	40,6 %

4.3. ETUDE DE L'OUVRAGE DE DEVALAISON

Compte tenu des enjeux identifiés et de l'aménagement prévu à Saut-Belle-Etoile une prise d'eau ichtyocompatible doit être conçue.

4.3.1. Principe de dimensionnement

4.3.1.1. Principe de fonctionnement d'une dévalaison

Afin de limiter la mortalité des poissons, et de leur permettre d'étendre leur territoire, on peut aménager des systèmes de dévalaison au niveau des prises d'eau, c'est-à-dire des dispositifs permettant aux poissons de passer à l'aval de la prise dans de bonnes conditions.

Le système de dévalaison doit alors permettre :

- **L'arrêt des poissons** pour éviter leur passage par les turbines. Pour cela on installe une barrière physique ou comportementale avant l'entonnement dans la prise. Les diverses expérimentations d'écrans électriques, lumineux, soniques... s'étant révélées inefficaces, il s'agit en général de mettre en place des grilles fines bloquant ou retardant le passage des poissons ;

- **Le guidage des poissons** vers un exutoire avec une attention particulière aux conditions hydrauliques (débit, vitesses, lame d'eau,) ;
- **Le transfert à l'aval sans dommage**, par le biais de conduites, canaux ou bassins successifs. Une attention particulière est portée aux conditions de pression, vitesse, lame d'eau, mais aussi aux matériaux utilisés, ceux-ci devant être bien lisses pour éviter de blesser les poissons par exemple.

4.3.1.2. Critères généraux de dimensionnement

Les préconisations pour la conception du dispositif de prise d'eau ichtyocompatibles sont récapitulées ci-après (cf. règles explicitées dans les guides références au § 2.2).

■ Contraintes pour l'arrêt et le guidage des poissons vers l'exutoire :

- Pour une barrière physique l'espacement libre entre les barreaux ne doit pas dépasser 1/10 de la taille des poissons. Par ailleurs, un espacement libre entre barreaux de 1/6 à 1/8 de la taille des poissons devrait pouvoir constituer une barrière comportementale.
- Pour éviter le placage des poissons contre les grilles, il est impératif que les vitesses d'écoulement en amont immédiat de la grille restent modérées. Des valeurs de vitesse normale inférieures à 0.5 m/s doivent être recherchées. Il découle de ce critère une surface minimale de grille immergée en fonction du débit turbiné : 2 m² de grille par m³/s de débit turbiné.

Compte tenu des spécificités de la prise d'eau (importantes variations de niveaux d'eau en amont du barrage et impossibilité de connaître in situ les futures caractéristiques de l'écoulement en amont de la prise d'eau), l'AFB recommande dans son dernier avis (cf. [Réf 9]) de ne pas dépasser une vitesse normale au plan de grille de 0.4 m/s, ce qui en découle un « critère cible » de 2,5 m² de grille par m³/s de débit turbiné.

- Les grilles doivent être inclinées ou orientées de manière à guider correctement le poisson vers l'exutoire : le guidage sera d'autant meilleur que la vitesse tangentielle sera importante par rapport à la vitesse normale.

Pour les plans de grille quasi-verticaux, orientés en plan par rapport à la direction de l'écoulement, il est préconisé une **orientation minimale à 45°** par rapport à la direction de l'écoulement (valeur maximale pour l'angle α).

Pour les plans de grille inclinés en coupe par rapport à l'horizontale et disposés perpendiculairement par rapport à l'écoulement, une **inclinaison minimale à 26°** par rapport à l'horizontale (valeur maximale pour l'angle β) doit être recherchée.

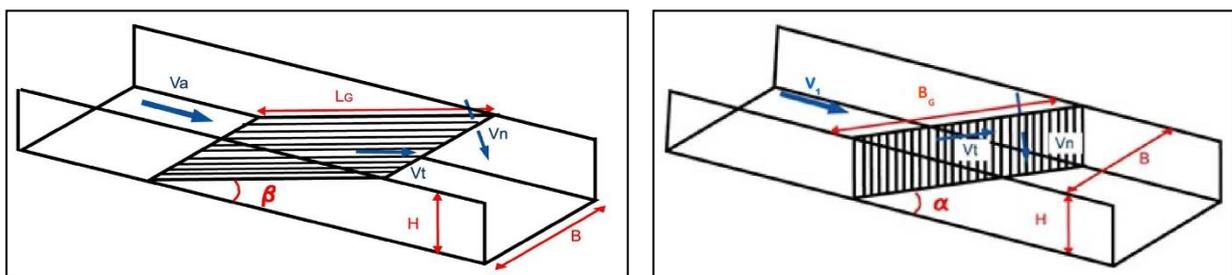


Figure 14 – Schémas d'un plan de grille incliné (à gauche) et d'un plan de grille orienté (à droite)

■ Contraintes pour le dimensionnement de l'exutoire :

- Le débit transité dans l'exutoire doit être compris entre 2 et 10% du débit maximal transitant par la prise d'eau.
- La vitesse à l'entrée de l'exutoire doit être proche (voire légèrement supérieure) à la vitesse à l'amont du plan de grilles, afin de garantir l'attractivité de l'exutoire : les poissons sont ainsi attirés par la sur vitesse sans pour autant être effrayés par l'entraînement du courant. Dans le cas de vitesses inférieures à la vitesse d'approche, les poissons ne seraient pas attirés par l'exutoire ; dans le cas de vitesses trop supérieures à la vitesse d'approche, les poissons seraient réticents à s'engager dans l'exutoire du fait de l'accélération trop marquée.

- Dans les cas d'un plan de grille incliné à 26°, une **vitesse en entrée des exutoires de l'ordre de 1,2 fois la vitesse tangentielle, soit environ 1,1 fois la vitesse d'approche** est préconisée.
- Dans les cas des plans de grille orientés, le retour d'expérience est moindre mais **une vitesse en entrée de l'ordre de 0.6 V_A, 1.15 V_A et 1.7 V_A** est recherchée, pour **les orientations à 60°, 45° et 30° respectivement**.
 - Afin de ne pas induire de réticence à emprunter l'exutoire, il est recommandé des dimensions minimums de 0.5 m pour la largeur et la profondeur.
 - Les **canaux ouverts** sont préférables dans la mesure où ils sont beaucoup moins sujets aux obstructions et d'un entretien plus facile, et les écoulements à surface libre permettent d'éviter les impacts potentiels des variations de pression sur les poissons.

4.3.2. Dimensionnement du plan de grille

4.3.2.1. Entrefer

L'entrefer du plan de grilles a été déterminé d'après le retour d'expérience de la dévalaison prévue pour la centrale hydroélectrique de Maripasoula en Guyane.

Compte tenu de la répartition de la taille maximale des espèces et du taux de mortalité estimé dans les turbines et fonction de la taille des poissons, la valeur proposée pour l'entrefer du plan de grilles est de 3 centimètres.

Le rapport largeur / longueur est très variable selon les espèces, et comme aucune donnée précise n'est disponible, il est fait l'hypothèse d'un rapport moyen de l'ordre de 0,10, un espacement de 3 cm permet de bloquer physiquement les poissons de plus de 0,30 m « en moyenne », ce qui permet :

- De préserver les poissons de grande taille, parmi lesquels figurent des espèces à enjeu patrimonial important, et qui constituent également le groupe parmi lequel sont identifiées les principales espèces à enjeux migratoires,
- De n'enregistrer que des dommages quantitativement assez limités aux poissons de plus petite taille, puisque le taux de mortalité dans les turbines est au plus de l'ordre de 10 % pour les poissons de 30 cm et tombe à 8 % pour les poissons de 15 cm.

4.3.2.2. Surface du plan de grille

Détermination de la surface minimale immergée du plan de grille		Critère « mini »	Critère « cible »
Débit d'équipement	Q_T	143 m ³ /s	143 m ³ /s
Ratio surface mouillée / débit turbiné	S_G / Q_T	2	2,5
Surface immergée minimale du plan de grilles	S_{Gmini}	286 m ²	358 m ²

4.3.2.3. Calage du plan de grille

Afin d'être dans une configuration plus favorable pour la dévalaison (en évitant notamment de faire plonger la tranche supérieure de l'écoulement vers le plan de grille) et d'augmenter au maximum la surface du plan de grille disponible pour réduire la vitesse normale moyenne, le sommet du plan de grille sera calé :

- à une cote correspondant à la profondeur des exutoires dans le cas d'un plan de grille incliné,
- à une cote permettant une légère obturation du sommet du plan de grille, dans le cas d'un plan de grille orienté, pouvant de ce fait aider à guider certains corps flottants vers l'exutoire et limiter en partie les contraintes d'entretien de la grille.

De ce fait, il est proposé à ce stade de caler le haut de grille à -70 cm sous la RN, soit 11.5 mNGG.

D'autre part, le sommet de la grille de prise d'eau doit être supérieure à 13.9 mNGG pour qu'il n'y ait pas de surverse au-dessus de la grille jusqu'à 2 fois le module, et conserver ainsi la fonctionnalité du dispositif de dévalaison. **On considérera donc une cote du point émergeant de la grille calée à 14.0 mNGG.**

La cote du radier sera quant à elle prise égale à 0.4 mNGG.

4.3.2.4. Disposition du plan de grille pour le guidage des poissons

Au stade APS, l'étude est réalisée en envisageant les deux types de guidage possibles :

- Solution A : Une grille orientée par rapport à l'axe d'écoulement,
- Solution B : Une grille inclinée par rapport à l'horizontale.

Il convient de déterminer les valeurs maximales des angles d'inclinaison ou d'orientation du plan de grille pour assurer un bon guidage et de vérifier les vitesses maximales tolérées.

Données		Critère « mini » : 2 m ² / m ³ /s	Critère « cible » : 2,5 m ² / m ³ /s
Niveau RN	N_{RN}	12,2 mNGG	12,2 mNGG
Cote du sommet immergé du plan de grille	N_{HG}	11,5 mNGG	11,5 mNGG
Cote du radier	N_{BG}	0,4 mNGG	0,4 mNGG
Hauteur de grilles maxi immergée	H	11,1 m	11,1 m
Largeur d'eau à l'amont	B	18 m	18 m
Surface cible de grille immergée	S_G	286 m ²	358 m ²
SOLUTION A : grille orientée → Détermination de l'angle α (β = 0)			
Orientation par rapport à la direction de l'écoulement, α doit être ≤ 45°	α	44°	34°
Largeur du plan de grille	B_G	26,0 m	32,2 m
Niveau bas des grilles = cote radier	N_{BG}	0,4 mNGG	0,4 mNGG
Vitesse d'approche moyenne au plan de grilles pour le débit maximum turbiné	V_A	0,72 m/s	0,72 m/s
Vitesse normale : V _N = V _A * sin α → Critère à respecter : V _N ≤ 0.5 m/s	V_N	0,50 m/s	0,40 m/s
Vitesse tangentielle : V _T = V _A * cos α	V_T	0,52 m/s	0,60 m/s
Vitesse tangentielle / Vitesse normale → Critère à respecter : V _T / V _N ≥ 1	V_T / V_N	1,04	1,5
SOLUTION B : grille inclinée → détermination de l'angle β (α = 0)			
Inclinaison par rapport à l'horizontale, β doit être ≤ 26°	β	26°	26°
Longueur de grille immergée	L_G	16,0 m	20,0 m
Niveau bas de grilles > cote du radier initial	N_{BG}	4,5 mNGG	2,8 mNGG
Hauteur entre le radier et le seuil des grilles		4,1 m	2,4 m
Vitesse d'approche moyenne au plan de grilles pour le débit maximum turbiné	V_A	1,13 m/s	0,91 m/s
Vitesse normale : V _N = V _A * sin α → Critère à respecter : V _N ≤ 0.5 m/s	V_N	0,50 m/s	0,40 m/s
Vitesse tangentielle : V _T = V _A * cos β	V_T	1,01 m/s	0,82 m/s
Vitesse tangentielle / Vitesse normale → Critère à respecter : V _T / V _N ≥ 2	V_T / V_N	2,03	2,04

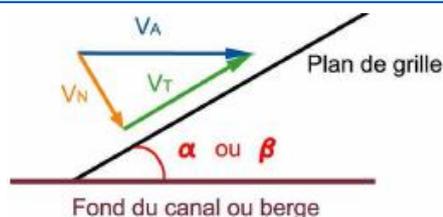


Figure 15 – Décomposition de la vitesse d'approche V_A en vitesse normale V_N et tangentielle V_T

4.3.3. Transfert vers l'aval dans le cas d'un plan de grille incliné (solution B)

4.3.3.1. Débit de dévalaison et caractéristiques des exutoires

Le débit du dispositif de dévalaison proposé est de 2,9 m³/s, correspondant à 2% du débit d'équipement.

La vitesse en entrée des exutoires est déterminée de telle manière qu'elle soit de 1,2 fois la vitesse tangentielle théorique (ou 1,1 fois la vitesse d'approche), soit environ 1 m/s.

Cette vitesse minimale nous permet d'en déduire une section mouillée minimale, en utilisant la formule suivante :

$$Q_b = V_b \times H_b \times N_b \times B_b \quad \text{avec : } \begin{array}{l} Q_b, \text{ le débit total des exutoires (en m}^3\text{/s),} \\ V_b, \text{ la vitesse en entrée des exutoires (en m/s),} \\ H_b, \text{ la hauteur d'eau en entrée des exutoires (en m),} \\ N_b, \text{ le nombre d'exutoires,} \\ B_b, \text{ la largeur de chaque exutoire (en m).} \end{array}$$

La largeur du plan de grilles étant de 18 mètres, il est proposé la mise en place de **quatre exutoires**.

Etant donné la profondeur de la prise d'eau, la profondeur des exutoires retenue est de 70 cm, au-delà des recommandations minimums (50 cm), afin d'améliorer le passage des espèces de grande taille susceptibles d'emprunter le dispositif (cf. [Réf.9]).

Il a été retenu les caractéristiques ci-après pour les exutoires :

Caractéristiques des exutoires dans le cas d'une grille inclinée		
Nombre d'exutoires	N_b	4
Hauteur d'eau dans l'exutoire	H_b	0,7 m
Largeur de chaque exutoire	L_b	1,05 m
Largeur totale d'exutoire	L_{bTOT}	4,20 m
Cote de calage des exutoires	h_b	11,5 mNGG
Débit total de dévalaison	Q_{déval}	2,9 m ³ /s
Vitesse à l'entrée des exutoires	V_b	0,99 m/s
Rapport vitesse exutoire / vitesse d'approche	V_b / V_A	1,09

A noter que la vitesse d'entrée dans les quatre exutoires sera variable, résultat de la non homogénéité de la vitesse d'approche sur la largeur du plan de grille.

4.3.3.2. Caractéristiques de la goulotte de dévalaison

Afin de permettre aux poissons de rejoindre l'aval, il est envisagé la mise en place d'une seule goulotte, commune pour le transfert des poissons et l'évacuation des dégrillats. Cette configuration présente l'avantage de rendre plus simple l'accès et l'entretien, contrairement à une solution avec deux goulottes distinctes.

A noter que cela a été conseillé par l'AFB dans son dernier avis (cf. [Réf.9]), le risque d'encombrement d'une goulotte commune apparaissant assez faible au vue des débits en jeu.

La structure mise en place pour le transfert des poissons vers l'aval sera la suivante :

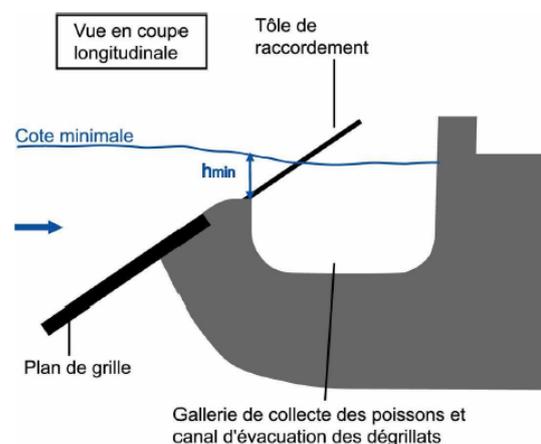


Figure 16 – Vue en coupe d'un exutoire de surface avec un canal commun d'évacuation des poissons et des dégrillats (d'après [Réf.A])

4.3.3.3. Goulotte de dévalaison

Les poissons emprunteront ensuite une goulotte.

Cette dernière sera élargie de façon progressive de telle manière à ce que la vitesse d'écoulement demeure constante et de l'ordre de 1 m/s. Ainsi, pour un débit de 2,9 m³/s et une profondeur de 0,70 m la largeur de la portion terminale de la goulotte ne devra pas être inférieure à 4,1 m.

La goulotte sera conçue de manière à limiter les pertes de charges et à favoriser le passage sans heurt de la faune piscicole (goulotte chanfreinée).

Les parois latérales des exutoires seront orientées quant à elle dans le sens de l'écoulement.

Les caractéristiques de la goulotte de dévalaison seront précisées au stade d'étude ultérieur (APD).

4.3.3.4. Contrôle du débit de dévalaison par clapet

Pour rappel, le niveau amont est susceptible de varier de 12,2 mNGG à l'étiage à 13,9 mNGG à 2 fois le module.

Ces variations importantes du niveau amont ont pour conséquences d'augmenter la section d'écoulement au niveau des exutoires et donc de réduire significativement la vitesse au droit de leur entrée. Si le débit de dévalaison était maintenu fixe à 2,9 m³/s, la vitesse à deux fois le module serait inférieure à 0,3 m/s.

Afin de garantir l'attractivité des exutoires sur toute la plage de fonctionnement du dispositif, le débit de dévalaison doit être régulé à l'aide d'un clapet asservi, de sorte que la vitesse de l'entrée des exutoires soit maintenue constante à une valeur proche de 1 m/s.

Sur ce principe le débit de dévalaison sera de l'ordre de 10 m³/s à deux fois le module.

4.3.4. Transfert vers l'aval dans le cas d'un plan de grille orienté en plan par rapport à la direction de l'écoulement (solution A)

4.3.4.1. Structure

Afin de permettre aux poissons de rejoindre l'aval, un exutoire de surface latéral sera implanté dans le prolongement du plan de grille.

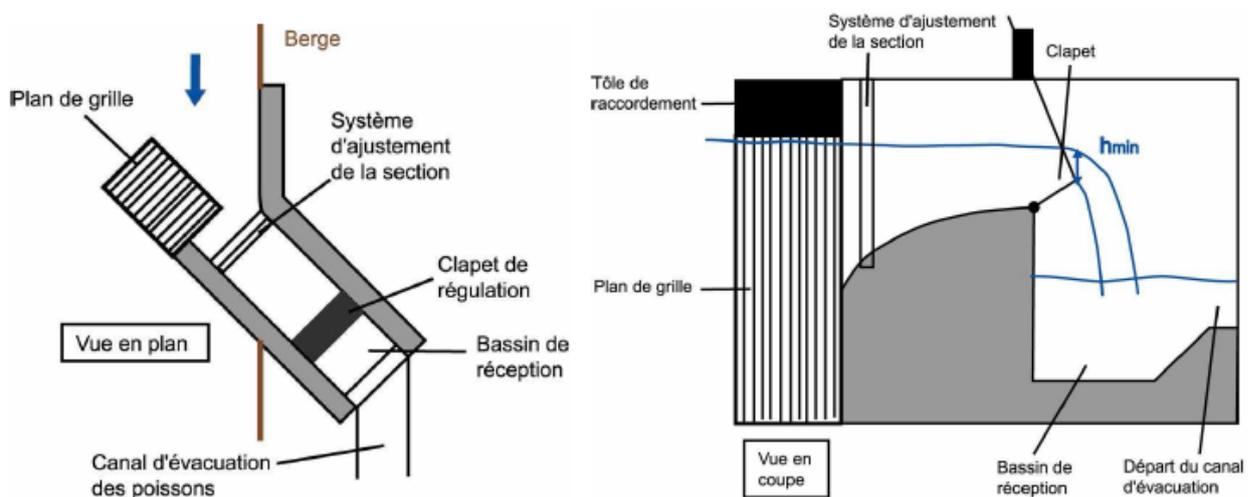


Figure 17 – Vue en plan (à gauche) et en coupe (à droite) d'un exutoire de surface terminal au niveau d'un plan de grille orienté (d'après [Réf.A])

4.3.4.2. Débit de dévalaison et caractéristiques de l'exutoire

Le débit du dispositif de dévalaison proposé initialement était de 2,9 m³/s, correspondant à environ 2% du débit d'équipement. Celui-ci transitait alors dans un exutoire de surface de 2 m de largeur pour une profondeur de 1 m.

Le débit de dévalaison et la profondeur de l'exutoire ont été revus à la hausse sur conseil de l'AFB (cf. [Réf.9]), en raison notamment de :

- La profondeur de la prise d'eau, d'environ 11,8 m à RN,
- L'absence de guidage vertical des poissons par ce type de plan de grille ;
- La faiblesse des courants ascendants devant l'exutoire de surface, risquant de le rendre non attractif pour une grande partie des poissons.

La vitesse en entrée de l'exutoire est quant à elle est déterminée de telle manière qu'elle soit de 1,7 fois la vitesse d'approche devant le plan de grille, soit environ 1,2 m/s.

De ce fait, il a été retenu les caractéristiques suivantes pour l'exutoire :

Caractéristiques de l'exutoire dans le cas d'une grille orientée		
Nombre d'exutoires	N_b	1
Hauteur d'eau dans l'exutoire	H_b	5,0 m
Largeur de l'exutoire	L_b	1,0 m
Cote de calage de l'exutoire	h_b	7,2 mNGG
Débit exutoire	Q_b	6,0 m ³ /s
Vitesse à l'entrée de l'exutoire : $V_b = Q_b / (H_b * N_b * L_b)$	V_b	1,2 m/s
Rapport vitesse exutoire / vitesse d'approche	V_b / V_A	1,66

Ce nouveau débit de dévalaison correspond à 4,2% du débit d'équipement.

4.3.4.3. Contrôle du débit de dévalaison par clapet

De la même manière que dans le cas d'un plan de grille incliné, afin de garantir l'attractivité de l'exutoire, le débit de dévalaison doit être régulé à l'aide d'un clapet asservi de sorte que la vitesse au niveau de l'entrée de l'exutoire soit maintenue à une valeur de l'ordre de 1,2 m/s.

Sur ce principe le débit de dévalaison sera de l'ordre de l'ordre 8 m³/s à deux fois le module.

La jonction entre l'arase et de l'entrée de l'exutoire et le clapet sera progressive afin de limiter les forts gradients de vitesse en amont du clapet.

4.3.5. Restitution à l'aval du barrage

La restitution se fera à surface libre dans une goulotte implantée au-dessus de la vanne de vidange de fond. La réception des poissons se fera à l'aval du barrage sans dommage (chute modérée et profondeur suffisante).

Les caractéristiques de la réception seront précisées au stade d'étude ultérieur (APD).

4.4. CONCLUSION QUANT AU CHOIX DE LA CONFIGURATION DU PLAN DE GRILLE

4.4.1. Contraintes du plan de grille incliné

Etant données les caractéristiques particulières de la prise d'eau (grande profondeur et marnage amont très important) la solution « plan de grille incliné » nécessite une longueur de plan de grille d'environ 23 mètres.

Se pose alors les questions sur la longueur du bras du dégrilleur nécessaire et également le porte-à-faux lorsque le bras est déployé en pied de grille. Ces aspects remettent en cause la faisabilité technique d'un tel dégrilleur.

De plus, les dimensions de la goulotte (près de 4,2 m de largeur par 2,3 m de profondeur en son extrémité) contraignent encore davantage cette solution.

4.4.2. Choix de la solution plan de grille orienté

La configuration d'un plan de grille orienté est retenue au stade APS.

Au prochain stade d'étude (APD), cette solution devra être confortée, et il sera réalisé notamment :

- Un dimensionnement mécanique du plan de grille pour valider notamment sa tenue mécanique au colmatage ;
- Une estimation des pertes de charge au passage du plan de grille ;
- Un choix de la typologie des barreaux (mode d'assemblage et orientation) compte-tenu du contexte de la prise d'eau et du retour d'expérience accumulé sur les différentes solutions (assemblage classique avec barreaux quasi-verticaux et perpendiculaires à l'axe du plan de grilles ; barreaux horizontaux ; barreaux verticaux alignés dans le sens de l'écoulement) ;
- Une étude des possibilités de dégrillage.

5. HORS PERIMETRE DE L'ETUDE : CONCEPTION GENIE-CIVIL DES OUVRAGES

Pour rappel ce document consiste en la reprise de la conception des ouvrages de franchissement du projet de Saut Belle Etoile sur la Mana suite à la consultation des services instructeurs, pour assurer son acceptation notamment au regard du franchissement piscicole.

Il ne comprend pas :

- Les détails sur la conception des ouvrages (pas de prescriptions spécifiques sur la nature des ouvrages)
- Les détails sur les modes de réalisation des travaux.
- L'estimation des coûts.

Les informations ci-dessus seront données au stade ultérieur des études lorsque des données fiables seront disponibles (notamment les données géotechniques) et que le projet aura obtenu l'aval des services de l'état ou un accord préalable.

6. ANNEXES

■ Fichiers Cassiopée pour la modélisation de la passe à bassins

- Caractéristiques géométriques
- Simulation à l'étiage
- Simulation au module
- Simulation à 2x le module.

■ Plans

Passe a bassins

Caractéristiques géométriques de Passe a bassins

	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	Cote seuil Ech 1	Larg Ech 2	Alpha Ech 2	Cote seuil Ech 2
1	0.000	0.000	1.000	0.800	10.901	10.900				0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	1.000	0.800	10.701	10.700	10.800	4.600	5.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.000	1.000	0.800	10.501	10.500	10.600	4.600	5.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.000	1.000	0.800	10.301	10.300	10.400	4.600	5.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.000	1.000	0.800	10.101	10.100	10.200	4.600	5.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6	0.000	0.000	1.000	0.800	9.901	9.900	10.000	4.600	5.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	0.000	0.000	1.000	0.800	9.701	9.700	9.800	4.600	5.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8	0.000	0.000	1.000	0.800	9.501	9.500	9.600	4.600	5.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	0.000	0.000	1.000	0.800	9.301	9.300	9.400	4.600	5.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	0.000	0.000	1.000	0.800	9.101	9.100	9.200	4.600	5.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11	0.000	0.000	1.000	0.800	8.901	8.900	9.000	4.600	5.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12	0.000	0.000	1.000	0.800	8.701	8.700	8.800	4.600	5.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
13	0.000	0.000	1.000	0.800	8.501	8.500	8.600	4.600	5.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14	0.000	0.000	1.000	0.800	8.301	8.300	8.400	4.600	5.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
15	0.000	0.000	1.000	0.800	8.101	8.100	8.200	4.600	5.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
16	0.000	0.000	1.000	0.800	7.901	7.900	8.000	4.600	5.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
17	0.000	0.000	1.000	0.800	7.701	7.700	7.800	4.600	5.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
18	0.000	0.000	1.000	0.800	7.501	7.500	7.600	4.600	5.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
19	0.000	0.000	1.000	0.800	7.301	7.300	7.400	4.600	5.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20	0.000	0.000	1.200	0.800	7.350	7.100	7.200	4.600	5.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Vanne :

Sans

Passé à bassins

Paramètres de fonctionnement : Etiage

Niveau d'eau	P/v (W/m ³)	Tmoy (m)	Vit. Débitante	Cote radier mi-bassin	Débit d'Attrait	Cloison N°	Chute (m)	Cote radier amont paroi	Débit (m ³ /s)
12.200									
12.000	148	1.200	0.347	10.800	0.000	1	0.200	10.900	2.084
11.800	147	1.200	0.347	10.600	0.000	2	0.200	10.700	2.084
11.600	147	1.200	0.347	10.400	0.000	3	0.200	10.500	2.084
11.401	147	1.201	0.347	10.200	0.000	4	0.200	10.300	2.084
11.201	147	1.201	0.347	10.000	0.000	5	0.200	10.100	2.084
11.001	147	1.201	0.347	9.800	0.000	6	0.200	9.900	2.084
10.802	147	1.202	0.347	9.600	0.000	7	0.199	9.700	2.084
10.602	147	1.202	0.347	9.400	0.000	8	0.199	9.500	2.084
10.403	147	1.203	0.346	9.200	0.000	9	0.199	9.300	2.084
10.204	146	1.204	0.346	9.000	0.000	10	0.199	9.100	2.084
10.006	146	1.206	0.346	8.800	0.000	11	0.199	8.900	2.084
9.807	145	1.207	0.345	8.600	0.000	12	0.198	8.700	2.084
9.610	145	1.210	0.344	8.400	0.000	13	0.198	8.500	2.084
9.413	144	1.213	0.344	8.200	0.000	14	0.197	8.300	2.084
9.217	143	1.217	0.342	8.000	0.000	15	0.196	8.100	2.084
9.022	141	1.222	0.341	7.800	0.000	16	0.195	7.900	2.084
8.829	139	1.229	0.339	7.600	0.000	17	0.193	7.700	2.084
8.638	137	1.238	0.337	7.400	0.000	18	0.191	7.500	2.084
8.449	134	1.249	0.334	7.200	0.000	19	0.189	7.300	2.084
8.250						20	0.199	7.100	2.084
Cote Van		Sans							

Passé à bassins

Paramètres de fonctionnement : Module

	Niveau d'eau	P/v (W/m ³)	Tmoy (m)	Vit. Débitante	Cote radier mi-bassin	Débit d'Attrait	Cloison N°	Chute (m)	Cote radier amont paroi	Débit (m ³ /s)
Amt	13.040									
1	12.840	143	2.040	0.337	10.800	0.000	1	0.200	10.900	3.435
2	12.639	144	2.039	0.337	10.600	0.000	2	0.200	10.700	3.435
3	12.439	144	2.039	0.337	10.400	0.000	3	0.200	10.500	3.435
4	12.238	144	2.038	0.337	10.200	0.000	4	0.201	10.300	3.435
5	12.037	144	2.037	0.337	10.000	0.000	5	0.201	10.100	3.435
6	11.837	144	2.037	0.337	9.800	0.000	6	0.201	9.900	3.435
7	11.636	144	2.036	0.338	9.600	0.000	7	0.201	9.700	3.435
8	11.435	144	2.034	0.338	9.400	0.000	8	0.201	9.500	3.435
9	11.233	145	2.033	0.338	9.200	0.000	9	0.201	9.300	3.435
10	11.031	145	2.032	0.338	9.000	0.000	10	0.202	9.100	3.435
11	10.830	145	2.030	0.339	8.800	0.000	11	0.202	8.900	3.435
12	10.627	146	2.027	0.339	8.600	0.000	12	0.202	8.700	3.435
13	10.424	146	2.024	0.339	8.400	0.000	13	0.203	8.500	3.435
14	10.221	147	2.021	0.340	8.200	0.000	14	0.203	8.300	3.435
15	10.017	148	2.017	0.341	8.000	0.000	15	0.204	8.100	3.435
16	9.813	149	2.013	0.341	7.800	0.000	16	0.205	7.900	3.435
17	9.607	150	2.007	0.342	7.600	0.000	17	0.206	7.700	3.435
18	9.400	151	2.000	0.344	7.400	0.000	18	0.207	7.500	3.435
19	9.192	152	1.992	0.345	7.200	0.000	19	0.208	7.300	3.435
Avl	9.000						20	0.192	7.100	3.435
	Cote Van		Sans							

Passé à bassins

Paramètres de fonctionnement : 2x Module

	Niveau d'eau	P/v (W/m ³)	Tmoy (m)	Vit. Débitante	Cote radier mi-bassin	Débit d'Attrait	Cloison N°	Chute (m)	Cote radier amont paroi	Débit (m ³ /s)
Amt	13.900									
1	13.702	137	2.902	0.326	10.800	0.000	1	0.198	10.900	4.727
2	13.505	137	2.905	0.325	10.600	0.000	2	0.198	10.700	4.727
3	13.307	136	2.907	0.325	10.400	0.000	3	0.197	10.500	4.727
4	13.110	136	2.910	0.325	10.200	0.000	4	0.197	10.300	4.727
5	12.914	135	2.914	0.324	10.000	0.000	5	0.197	10.100	4.727
6	12.718	135	2.918	0.324	9.800	0.000	6	0.196	9.900	4.727
7	12.522	134	2.922	0.324	9.600	0.000	7	0.196	9.700	4.727
8	12.327	134	2.927	0.323	9.400	0.000	8	0.195	9.500	4.727
9	12.133	133	2.933	0.322	9.200	0.000	9	0.194	9.300	4.727
10	11.939	132	2.939	0.322	9.000	0.000	10	0.194	9.100	4.727
11	11.746	131	2.946	0.321	8.800	0.000	11	0.193	8.900	4.727
12	11.555	130	2.955	0.320	8.600	0.000	12	0.192	8.700	4.727
13	11.364	129	2.964	0.319	8.400	0.000	13	0.191	8.500	4.727
14	11.174	128	2.974	0.318	8.200	0.000	14	0.190	8.300	4.727
15	10.985	127	2.985	0.317	8.000	0.000	15	0.188	8.100	4.727
16	10.798	125	2.998	0.315	7.800	0.000	16	0.187	7.900	4.727
17	10.613	124	3.013	0.314	7.600	0.000	17	0.186	7.700	4.727
18	10.429	122	3.029	0.312	7.400	0.000	18	0.184	7.500	4.727
19	10.247	120	3.047	0.310	7.200	0.000	19	0.182	7.300	4.727
20							20	0.147	7.100	4.727
Avl	10.100									
	Cote Van		Sans							

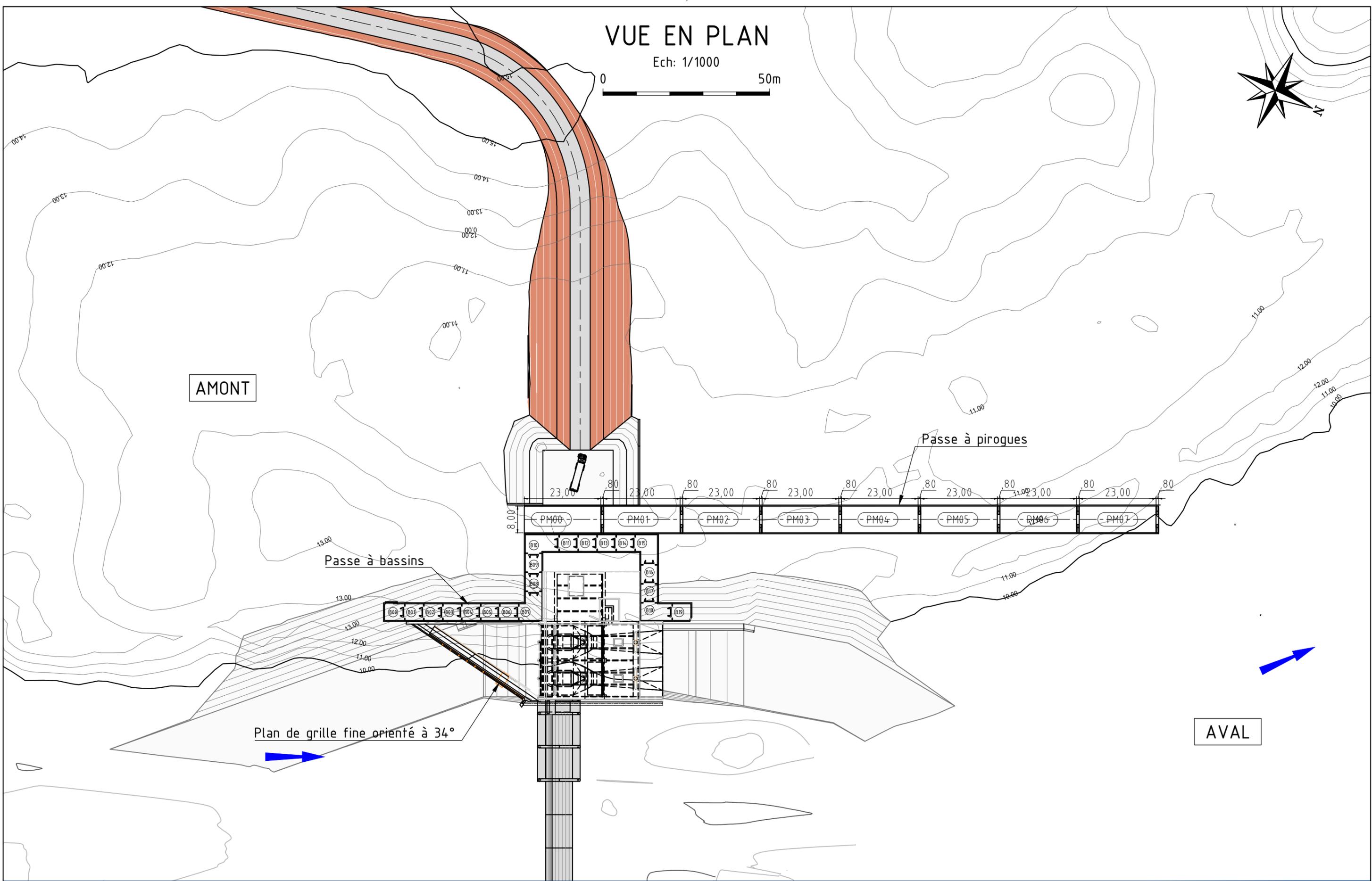
VUE EN PLAN

Ech: 1/1000



AMONT

AVAL



Ind	Date	Modification
A	07/09/17	Premier envoi
B	12/10/17	Mise à jour suite avis AFB du 04/10/17
C		
D		

Des. FARI
Ver. VILE
Le. 10/2017

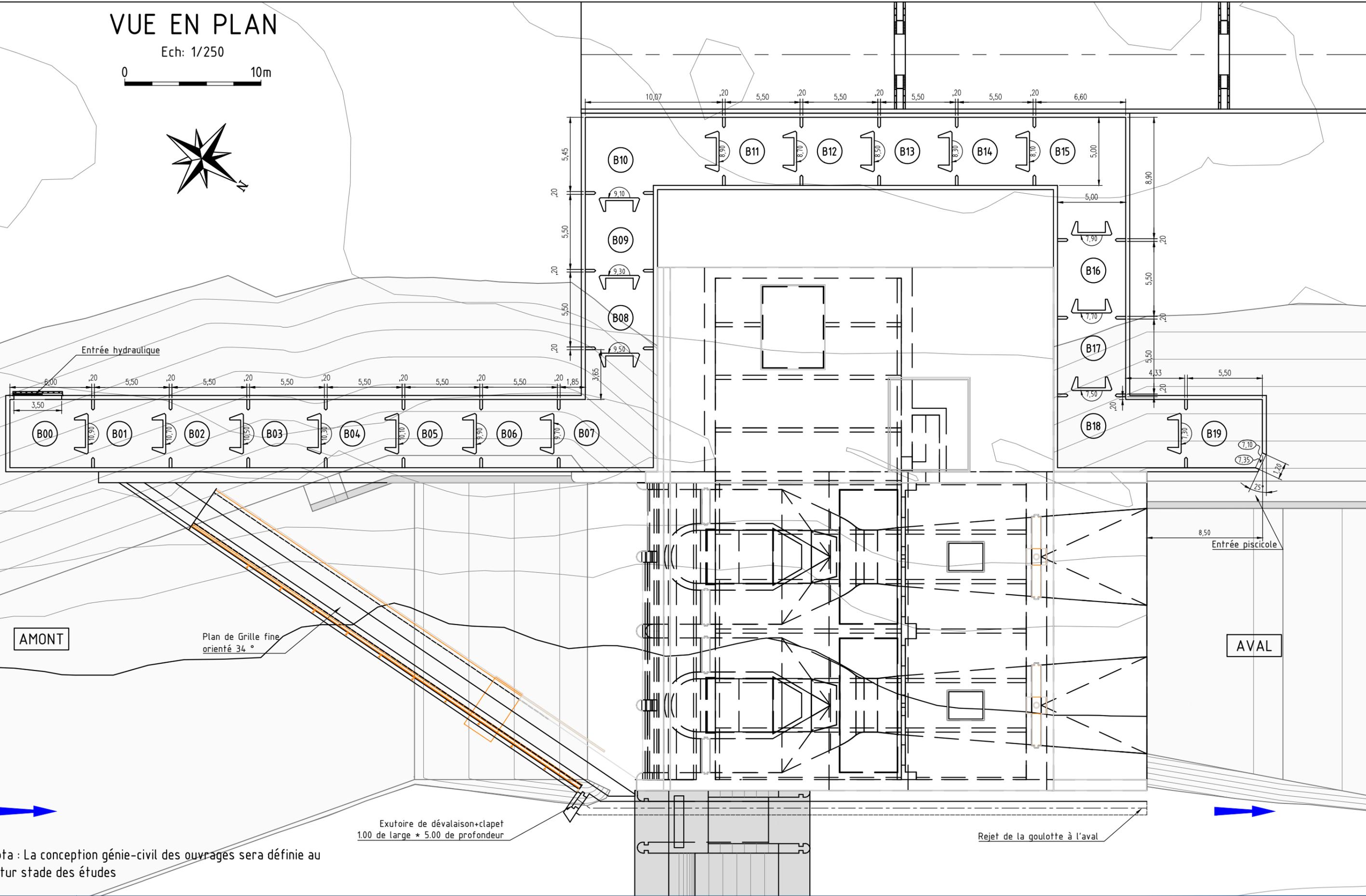


VOLTALIA
BELLE ETOILE
APS Ouvrages de franchissement

HSM-VOL-SBE-APS-E-201-B
Plan d'ensemble
Ech.: 1/1000 Format : A3

VUE EN PLAN

Ech: 1/250



AMONT

Plan de Grille fine orienté 34 °

AVAL

Exutoire de dévalaison+clapet
1.00 de large * 5.00 de profondeur

Rejet de la goulotte à l'aval

Nota : La conception génie-civil des ouvrages sera définie au futur stade des études

Ind	Date	Modification
A	07/09/17	Premier envoi
B	12/10/17	Mise à jour suite avis AFB du 04/10/17
C		
D		

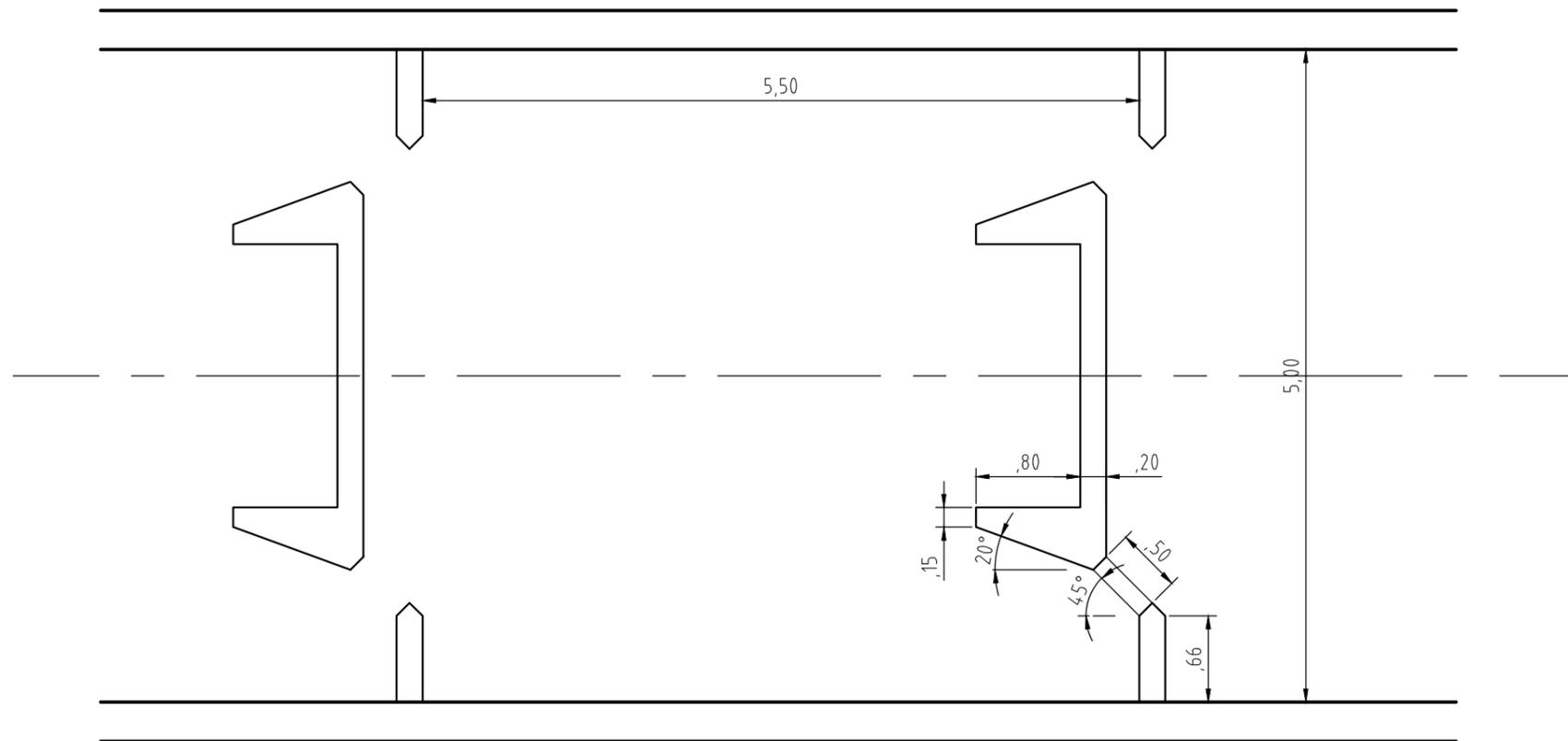
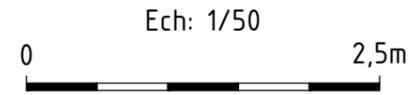
Des. FARI
Ver. VILE
Le. 10/2017



VOLTALIA
BELLE ETOILE
APS Ouvrages de franchissement

HSM-VOL-SBE-APS-E-202-B
Passe à bassins et dévalaison
Vue en plan
Ech.: 1/250 Format : A3

DETAIL CLOISON INTER-BASSINS



Nota : La conception génie-civil des ouvrages sera définie au futur stade des études

Ind	Date	Modification
A	07/09/17	Premier envoi
B	12/10/17	Mise à jour suite avis AFB du 04/10/17
C		
D		

Des. FARI
Ver. VILE
Le. 09/2017



VOLTALIA
BELLE ETOILE
APS Ouvrages de franchissement

HSM-VOL-SBE-APS-E-203-B

Passé à bassins - Détails

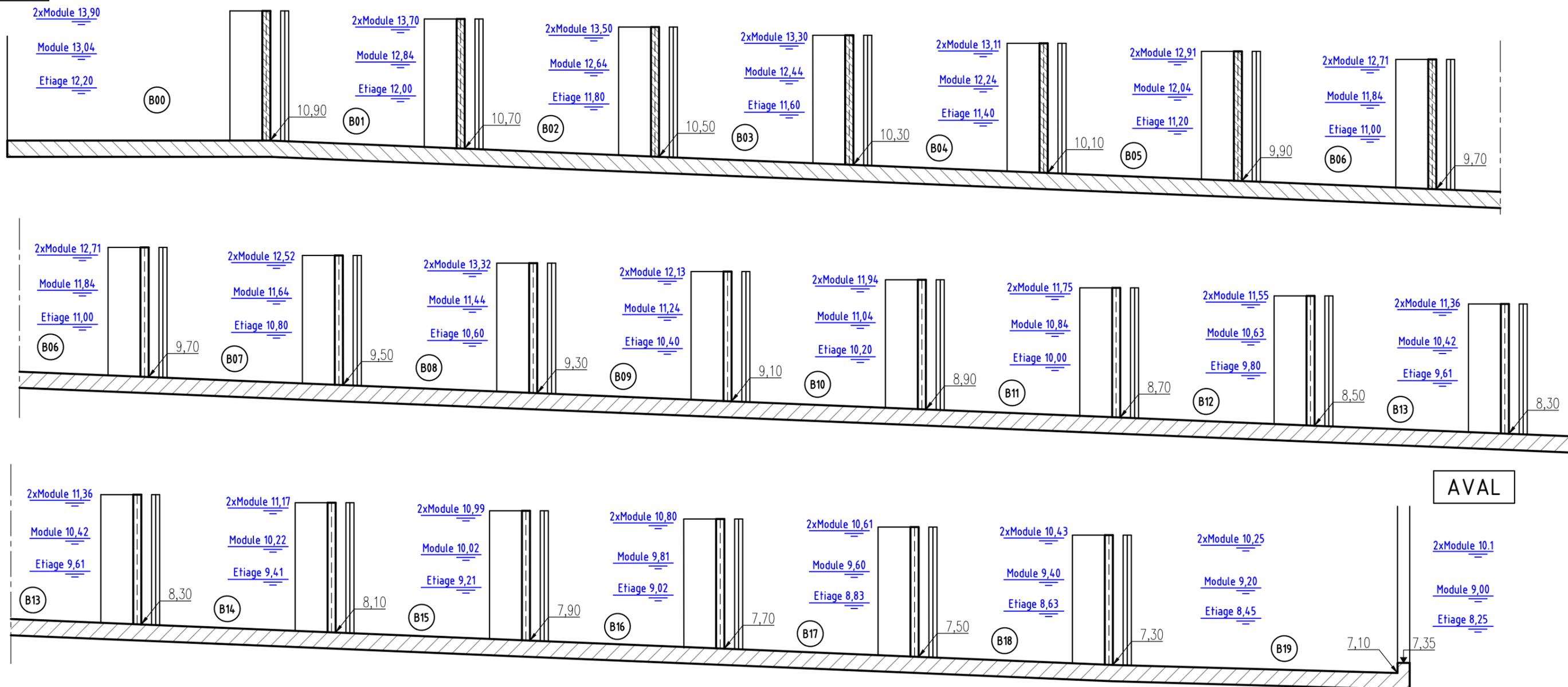
Ech.: 1/50 Format : A3

PROFIL EN LONG TYPE ET LIGNES D'EAU

Ech: 1/100



AMONT



AVAL

Ind	Date	Modification
A	05/09/17	Premier envoi
B	12/10/17	Mise à jour suite avis AFB du 04/10/17
C		
D		

Des. FARI
Ver. VILE
Le. 10/2017

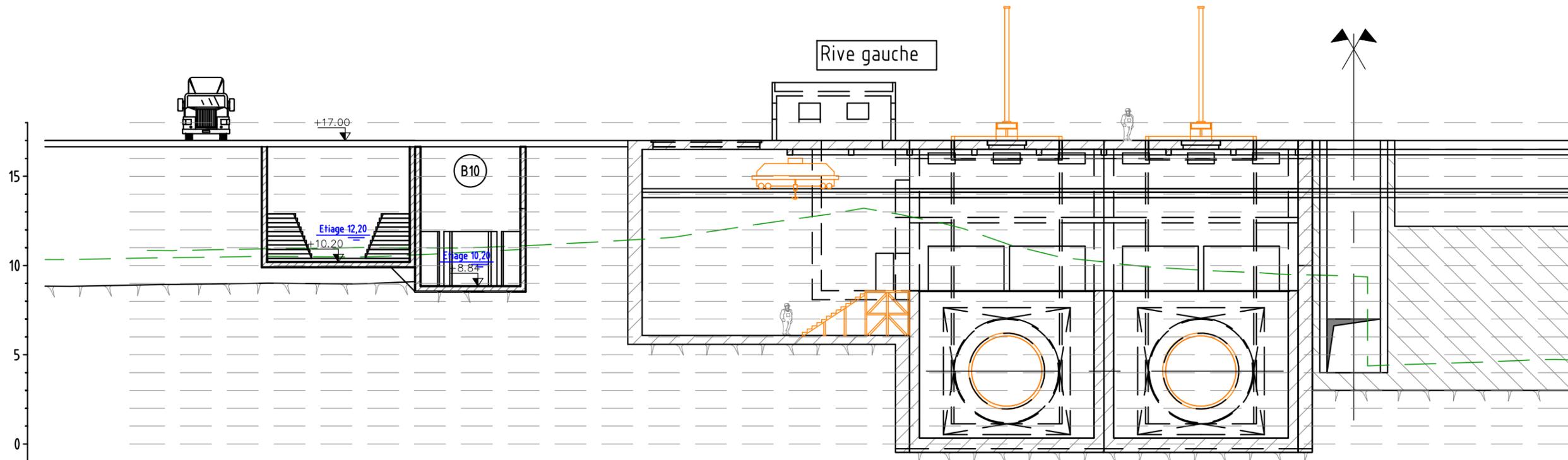


VOLTALIA
BELLE ETOILE
APS Ouvrages de franchissement

HSM-VOL-SBE-APS-E-204-B
Passe à bassins – Profil en long
Ech.: 1/100 Format : A3

COUPE SELON L'AXE BARRAGE

Ech: 1/250



Nota : La conception génie-civil des ouvrages sera définie au futur stade des études

Ind	Date	Modification
A	07/09/17	Premier envoi
B	12/10/17	Mise à jour suite avis AFB du 04/10/17
C		
D		

Des. FARI
Ver. VILE
Le. 10/2017



VOLTALIA
BELLE ETOILE
APS Ouvrages de franchissement

HSM-VOL-SBE-APS-E-205-B

Coupe selon Axe barrage

Ech.: 1/250 Format : A3