



ETUDE DE PREDIMENSIONNEMENT D'UN
DISPOSITIF DE FRANCHISSEMENT PISCICOLE SUR
LA TÊT AU DROIT DU PONT DE LA VOIE FERRE A
PERPIGNAN

Note de synthèse

46956 | Septembre 2020 | JID





Immeuble Central Seine

42-52 quai de la Rapée

75583 Paris Cedex 12

Email : hydra@hydra.setec.fr

T : 01 82 51 64 02

Pilote de l'étude : Jean-Loïc DOUARD (JID)

N'affaire : 46956

Fichier :

Version	Date	Etabli par	Vérifié par	Nb pages	Observations / Visa
1	16/09/2019	JID	JID	49 + annexes	

TABLE DES MATIÈRES

1	CONTEXTE ET OBJETIF DE L'ETUDE	7
2	METHODOLOGIE GENERALE PROPOSEE PAR SETEC HYDRATEC.....	8
3	PREAMBULE AU PREDIMENSIONNEMENT DU PROJET	10
3.1	Données d'entrée au projet	10
3.1.1	Données existantes fournies par le maitre d'ouvrage	10
3.1.2	Données collectées dans le cadre de l'étude	10
3.1.3	Reconnaitances de terrain et mesures de lignes d'eau réalisées dans le cadre de l'étude	10
3.1.4	Rencontres et entretiens	11
3.2	Description succincte du site	11
3.2.1	Situation géographique	11
3.2.2	Description synthétique du site de projet.....	13
4	PREDIMENSIONNEMENT DU PROJET	22
4.1	Description générale du type de dispositif de franchissement piscicoles envisagé : passe à macrorugosités	22
4.2	Critères généraux de conception du dispositif de franchissement piscicole	25
4.2.1	Hydrologie	25
4.2.2	Lois de tarage au droit de la zone à aménager	28
4.2.3	Espèces cibles dimensionnantes.....	31
4.2.4	Positionnement du dispositif de franchissement piscicole.....	35
4.2.5	Critères de dimensionnement hydraulique généraux	35
4.3	Loi de dimensionnement du dispositif de franchissement piscicole et méthodologie pour l'estimation des impacts hydrauliques.....	39
4.3.1	Loi d'écoulement utilisée pour le dimensionnement de la passe à macrorugosités	39
4.3.2	Méthodologie de calcul des impacts hydrauliques	40
4.4	Principes de dimensionnement et de fonctionnement des dispositifs de franchissement piscicole	40
4.4.1	Critères de dimensionnement hydraulique	40
4.4.2	Caractéristiques du dispositif de franchissement de type passe macrorugosités...	41
4.4.3	Fonctionnement à l'échelle du complexe hydraulique	42
4.4.4	Fonctionnalité hydraulique et piscicole du dispositif de franchissement piscicole ..	45
4.5	Positionnement du dispositif de franchissement piscicole	48
5	ANNEXES	50
5.1	Données de Synthèse à la station hydrométrique de la Têt (station Y0470030) à Perpignan (1970-2019).....	50
5.2	Relevé bathymétrique du site (SATIF OA 2020).....	51

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1. Localisation du site de projet à l'échelle du bassin versant de la Têt - Source : Syndicat Mixte du bassin versant de la Têt)	12
Figure 2. Localisation du site de projet sur fond de plan IGN Scan 25 à l'échelle de la commune de Perpignan (66) (Source : Géoportail)	12
Figure 3. Localisation du site de projet sur fond de plan cadastral (Source : Géoportail)	13
Figure 4. Vues du site, des ilots et des principales voies d'écoulements en aval du pont de la voie ferrée sur la Têt à Perpignan	14
Figure 5. Extrait des données de synthèse de la station hydrométrique de la Têt à Perpignan sur la période 1970-2019 – Source : Banque Hydro	26
Figure 8. Loi de tarage amont/aval et répartition des eaux entre parties d'ouvrages en situation actuelle en fonction du débit total de la Têt	30
Figure 6. Contextes piscicoles sur la Têt et localisation des ouvrages faisant obstacle à la continuité écologique – Source : Syndicat Mixte du Bassin Versant de la Têt	31
Figure 7. Etat fonctionnalité des contextes piscicoles sur la Têt – Source : Syndicat Mixte du Bassin Versant de la Têt	31
Figure 8. Loi de tarage amont/aval et répartition des eaux entre parties d'ouvrages en situation aménagée fonction du débit total de la Têt	43
Figure 9. Positionnement du dispositif de franchissement piscicole proposé par Setec Hydratec	49
Tableau 1. Principales caractéristiques altimétriques et dimensionnelles des seuils en enrochements au droit des arches en eau (A2, A3 et A4)	21
Tableau 2. Débits moyens mensuels, débits de références et débits classés estimés au droit du site de projet sur la période 1970-2019	28
Tableau 3. Lignes d'eaux mesurées en amont et en aval immédiat de la zone à aménager	28
Tableau 4. Description succincte des espèces cibles visées sur la Têt au droit de la zone de la zone de projet	34
Tableau 5. Critères de dimensionnement hydraulique	40
Tableau 6. Caractéristiques du dispositif de franchissement de type passe macrorugosités	41
Tableau 7. Lignes d'eau et répartition des eaux entre parties d'ouvrages en fonction du débit total de la Têt	44
Tableau 8. Critères de fonctionnement hydrauliques et piscicoles de la passe macrorugosités	47

1 CONTEXTE ET OBJETIF DE L'ETUDE

Dans le cadre de la mise en conformité du seuil associé au pont de la voie ferrée sur la Têt à Perpignan (**Pra du PK 467+042** de la ligne de Narbonne à Port-Bou) associé au classement du cours d'eau en **liste 2** au titre de l'article **L214-17** du Code de l'Environnement, SNCF réseau a sollicité Setec Hydratec en **novembre 2019** pour réaliser une étude de prédimensionnement d'un dispositif de franchissement piscicole.

Elle fait suite à :

- Une étude globale d'amélioration de la continuité écologique de la Têt réalisée par le Syndicat Mixte du Bassin Versant de la Têt, ayant mis en évidence l'impact avéré du seuil associé au pont de la voie ferrée sur la continuité piscicole et sédimentaire du cours d'eau ;
- Une étude préliminaire de conception réalisée par le bureau d'études WSP, ayant précisé le type de solution technique à privilégier (passe à macrorugosités) et son emplacement (arche centrale **A3**).

La mission s'articule également logiquement avec le programme d'aménagement des ouvrages transversaux de la Têt en aval entrepris par le Département des Pyrénées Orientales.

La conception du projet aux stades Avant-Projet et Projet sera réalisée par les moyens d'ingénierie internes à SNCF réseau sur la base des éléments de dimensionnement fournis par Setec Hydratec.

SNCF Réseau assurera également l'élaboration du dossier réglementaire ainsi que la maîtrise d'œuvre des travaux.

2 METHODOLOGIE GENERALE PROPOSEE PAR SETEC HYDRATEC

La méthodologie d'étude proposée par Setec Hydratec comprend les éléments de mission suivants :

- **Acquisition d'éléments de connaissance du fonctionnement hydrologique et hydraulique au droit du site :**
 - Récupération des données hydrologiques et débits statistiques de référence au droit de la station hydrométrique de la Têt à Perpignan ;
 - Reconnaissances de terrain pour **trois situations hydrologiques contrastées** permettant d'apprécier :
 - La courantologie actuelle au droit du site et les lieux de regroupement privilégiés des migrateurs (zones de concentration des écoulements, points de blocage, fosses/radiers...) ;
 - Les contraintes/enjeux/opportunités guidant l'analyse relative au choix du type de dispositif de franchissement le plus opportun ;
 - Etablissement des relations Niveaux d'eau/Débits du cours d'eau pour trois régimes hydrologiques contrastés :
 - Mesures des niveaux d'eau en amont et en aval de la zone à aménager et mise en correspondance avec les débits enregistrés au même moment à la station hydrométrique de la Têt à Perpignan ;
 - Reconstitution d'une loi de tarage aval simplifiée à partir des mesures réalisées et extrapolation au-delà de la gamme de mesure par une formulation de type Manning-Strickler ;
 - Reconstitution d'une loi de tarage amont par calage d'une loi de seuil épais sur le jeu de mesures réalisées ;
- **Précision des hypothèses de travail, en concertation avec le maître d'ouvrage et l'OFB :**
 - Précision de la liste d'espèces piscicoles cibles dimensionnantes ;
 - Type de solution à privilégier ;
 - Gamme hydrologique de bon fonctionnement visée ;
- **Prédimensionnement de l'ouvrage de franchissement - Précision des valeurs proposées pour le dimensionnement :**
 - Fraction du débit total à dériver par le dispositif de franchissement pour différents régimes hydrologiques ;
 - Forme, hauteur utile, diamètre, concentration, espacement des blocs ;
 - Pente longitudinale et transversale du coursier ;
 - Hauteurs d'eau maximale et minimale sur la largeur du dispositif pour le régime de basses eaux dimensionnant ;
 - Côtes du coursier (limite supérieure de rugosité de fond) aux extrémités amont, aval et latérales du dispositif ;
- **Analyse du fonctionnement hydraulique en situation de projet et des impacts par rapport à la situation actuelle ;**
 - Précision des niveaux d'eau amont/aval et de la répartition des eaux entre les différentes voies d'eau pour la situation actuelle et la situation de projet ;
- **Analyse de la fonctionnalité piscicole du dispositif de franchissement pour l'ensemble des déciles de débits classés compris dans la gamme hydrologique de bon fonctionnement visée :**
 - Hauteurs d'eau, vitesses maximales débitantes, puissances volumiques dissipées minimales et maximales sur la largeur du dispositif ;
 - % de largeur fonctionnelle ou largeur fonctionnelle d'équipement par groupe d'espèce cible ;

- Proposition d'implantation sommaire du dispositif, sur le fond de plan fourni par le maître d'ouvrage (plan topographique en format .dwg) ;

3 PREAMBULE AU PREDIMENSIONNEMENT DU PROJET

3.1 DONNEES D'ENTREE AU PROJET

3.1.1 Données existantes fournies par le maitre d'ouvrage

Dans le cadre de l'étude, SNCF Réseau a mis à disposition de Setec Hydratec les données d'entrée suivantes :

- Etude préliminaire - Perpignan – Restauration de la continuité écologique, SNCF Réseau – Zone Ingénierie Sud-Est, mars 2019 ;
- Exemple de plans réalisés au stade des Etudes Préliminaires (EP) pour la création d'une passe à poissons sur le Pra de la Têt PK 467+042 ;
- Exemple de plans réalisés au stade projet (PRO) pour la création d'une passe à poissons sur le Vidourle sur les communes de Gallargues le Montueux et Villetelle, SNCF Réseau – Zone Ingénierie Sud-Est, 2013.

3.1.2 Données collectées dans le cadre de l'étude

a) Données hydrologiques

Les données hydrologiques ont été collectées sur la banque HYDRO au droit de la station hydrométrique de la Têt à Perpignan (station **Y0470030**), couvrant la période **1970-2020**.

b) Données bibliographiques diverses

Les données bibliographiques suivantes ont été exploitées dans le cadre de l'étude :

- Plan Départemental pour la Protection du milieu Aquatique et la Gestion des ressources piscicoles (PDPG), réactualisation 2018-2023, Fédération départementale de pêche des Pyrénées-Orientales.

c) Relevés topographiques réalisés dans le cadre de l'étude

Dans le cadre de l'étude, une campagne de relevés bathymétriques du site a été commanditée par SNCF Réseau et réalisée par la société **SATIF OA en juillet 2020** en période de basses eaux.

3.1.3 Reconnaissances de terrain et mesures de lignes d'eau réalisées dans le cadre de l'étude

Dans le cadre de l'étude, des reconnaissances de terrain et relevés de lignes d'eau en amont et en aval immédiat des ouvrages ont été réalisés :

- **Par Setec Hydratec :**
 - **Le 14/01/2020** - QJ sur la Têt à Perpignan: **5.48 m3/s** (≈ DC60) ;
 - **Le 19/06/2020** - QJ sur la Têt à Perpignan: **16.6 m3/s** (≈ DC85) ;
 - **Le 08/09/2020** - QJ sur la Têt à Perpignan: **4.3 m3/s** (≈ DC50) ;
- **Au cours de la campagne bathymétrique :**
 - **Le 15/07/2020** - QJ sur la Têt à Perpignan: **4.16 m3/s** (≈ DC50) ;

Les mesures de lignes d'eaux ont été réalisées pour des situations hydrologiques constatées recouvrant des régimes courants classiquement observés en année moyenne (basses, moyennes et hautes eaux annuelles hors période de crue), mais ne couvrant pas la totalité de la gamme hydrologique de bon fonctionnement visée (**DC10 → DC90**).

Il est à noter que le régime hydrologique a été particulièrement soutenu sur la Têt à l'été **2020** (valeur minimale de débit journalier de **2 m³/s le 1 août 2020**), ce qui n'a pas permis la mesure de niveaux d'eau pour des débits particulièrement bas et proches du débit de basses eaux dimensionnant (**DC10 = 0.89 m³/s**).

Comme expliqué plus loin, la courbe de tarage aval pour les bas débits a été extrapolée en considérant un niveau d'eau affleurant avec le premier radier/haut fond observé en aval de la zone à aménager pour un débit nul.

3.1.4 Rencontres et entretiens

Un certain nombre de personnes ou d'organismes ont été rencontrés et/ou contactés par Setec Hydratec dans le cadre de l'étude :

- **Maître d'ouvrage – SNCF Réseau :**
 - Laetitia FAURE, Pilote d'Opérations ;
 - Stéphane DOURENT, Chef de Projets, Agence Projets Languedoc Roussillon ;
 - Michael PLAGNOL, Chargé d'Etudes Ouvrages d'Art, Pôle Régional Ingénierie Montpellier ;
- **Partenaires techniques – Office Français pour la Biodiversité (OFB) :**
 - Philippe BOBEL, Inspecteur de l'environnement - Référent interdépartemental continuité écologique - Service départemental de l'Ariège;
- **Partenaires techniques – Fédération départementale de pêche des Pyrénées Orientales**
 - Olivier BAUDIER, Directeur de la Fédération départementale de pêche des Pyrénées-Orientales.

3.2 DESCRIPTION SUCCINCTE DU SITE

3.2.1 Situation géographique

Les cartes pages suivantes situent la zone de projet à l'échelle du bassin versant de la Têt, de la commune de Perpignan (66) et sur le plan cadastral.

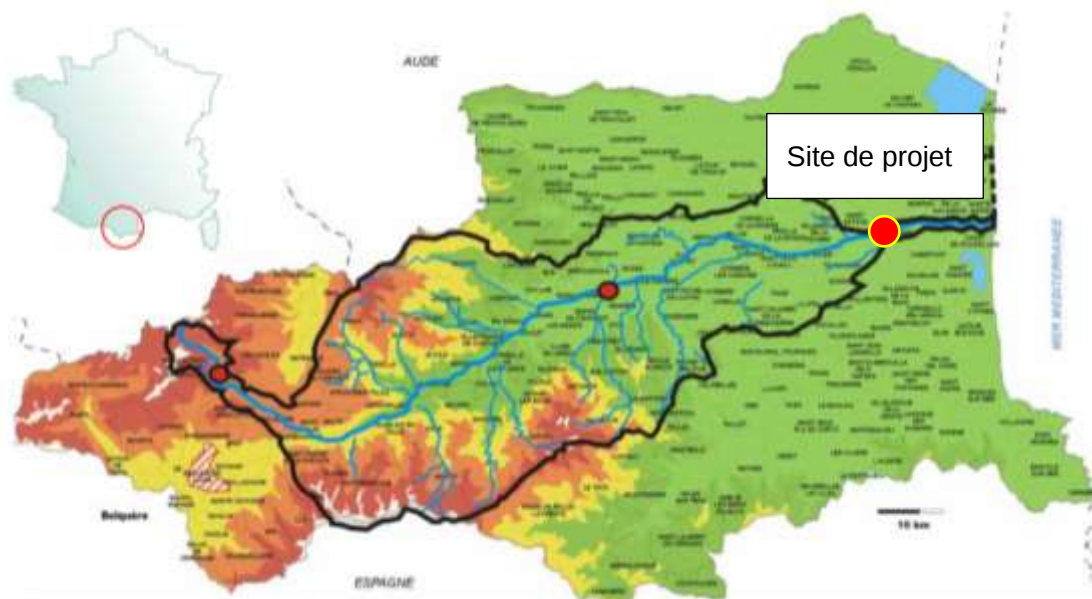


Figure 1. Localisation du site de projet à l'échelle du bassin versant de la Têt - Source : Syndicat Mixte du bassin versant de la Têt)

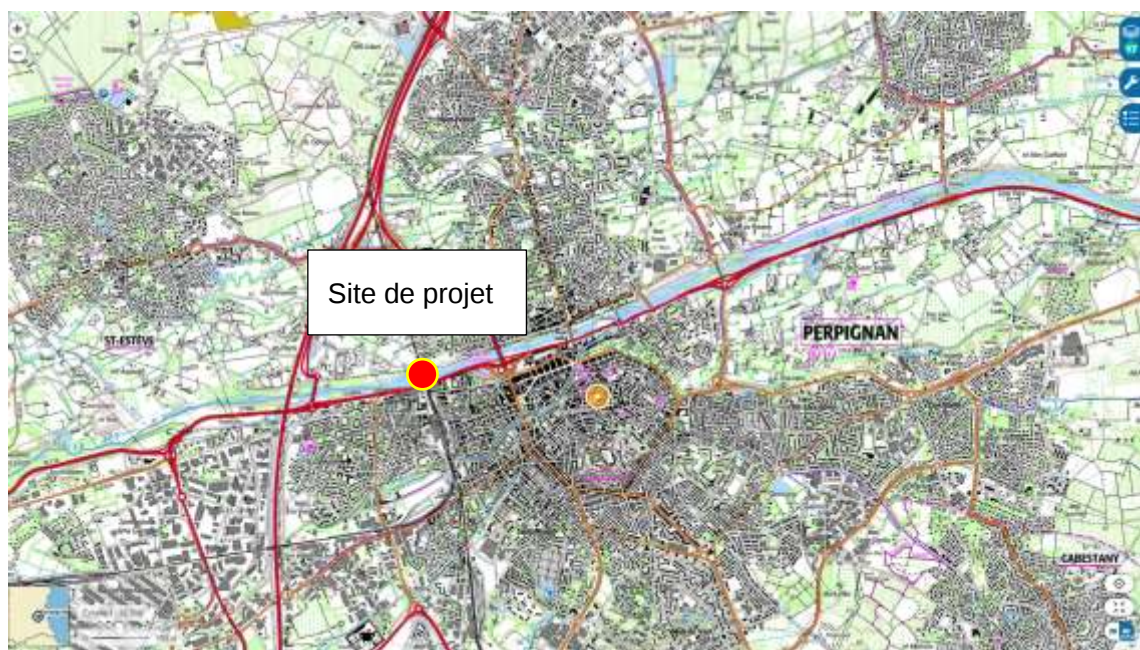


Figure 2. Localisation du site de projet sur fond de plan IGN Scan 25 à l'échelle de la commune de Perpignan (66) (Source : Géoportail)



Figure 3. Localisation du site de projet sur fond de plan cadastral (Source : Géoportail)

La zone de projet se situe dans le lit de la Têt au droit du pont de la voie ferrée à Perpignan. L'accès à la zone de travaux est permis par le rive gauche via la rue Augustin Pajou.

3.2.2 Description synthétique du site de projet

Le pont-rail situé sur la ligne de Narbonne à Port-bou (677 000) franchit le cours de la Têt à Perpignan au PK 467+042 sur une longueur de **185 m**.

L'ouvrage, construit en **1858**, est constitué de **7 arches** plein cintre de **21,50 m** d'ouverture droite chacune, supportant deux voies ferrées, dont l'intrados, les culées, les piles, les murs, et les tympans sont en maçonneries, tandis que le parapet, les plinthes, les bandeaux et le chaînage sont en pierre de taille. Les fondations de l'ouvrage sont de type profonde sur puits.

Pour les régimes hydrologiques ordinaires, seules les trois arches centrales (**A2, A3 et A4** sur la figure page suivante) sont en eau.

Chaque pile en rivière présente un couronnement de type béton armé.

Entre chaque pile en rivière, le fond du lit est stabilisé et réhaussé par des enrochements appareillés de grande dimension sur toute la longueur des arches ainsi que sur quelques mètres en aval.

L'aménagement forme alors un obstacle transversal :

- Influençant la ligne d'eau et relevant le fond du lit en amont, en favorisant le dépôt des sédiments charriés par le cours d'eau, sur un linéaire d'environ **700 m** ;
- Créant une chute de l'ordre de **1.9 m** à l'étiage, **1.7 m** en régime moyen et **1.3 m** en hautes eaux annuelles (hors crues).

Les arches du pont divisent le cours d'eau en trois bras d'écoulement principaux, séparés en aval de l'ouvrage par des îlots de longueur inégale.

Ainsi, les bras d'écoulements situés en aval de l'arche en rive gauche (**A2**) et de l'arche centrale se rejoignent à **45 m** environ en aval du pont et forme ainsi le bras d'écoulement

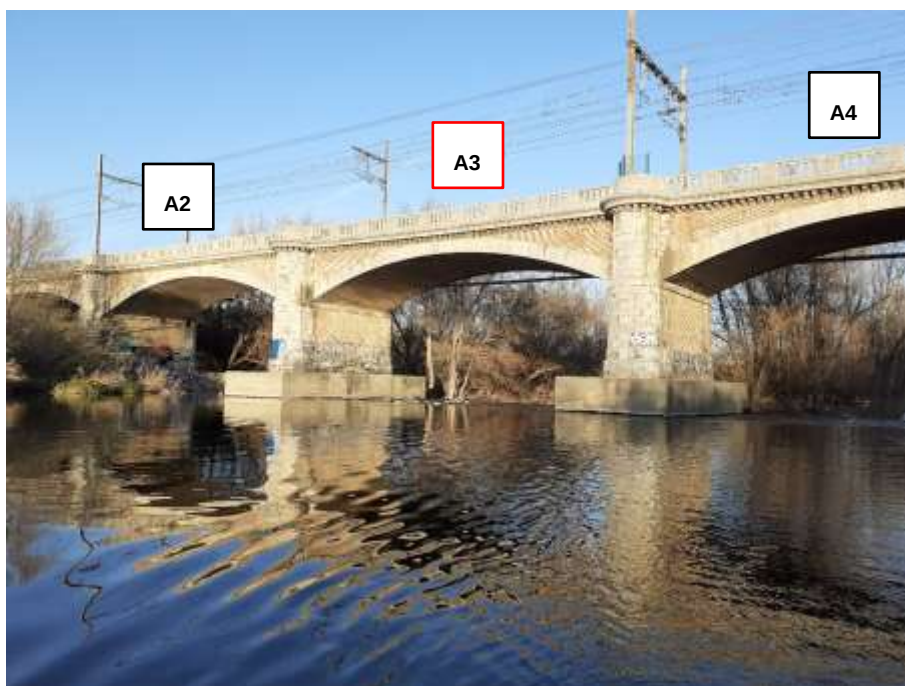
gauche principal. Ce dernier est séparé du bras droit situé en aval de l'arche en rive droite (**A4**) par une ile de grande longueur reportant la confluence des flux à **160 m** environ en aval du pont.



Figure 4. Vues du site, des ilots et des principales voies d'écoulements en aval du pont de la voie ferrée sur la Têt à Perpignan

Les photographies pages suivantes donnent une vue des principaux ouvrages et voies d'eau associées au site.

Vue du pont de la voie ferrée depuis l'amont



Vue de l'arche centrale (A3) depuis l'amont



Vue depuis la passerelle et la rive droite des seuils en enrochements sous les arches et des bras d'écoulements séparés par des îlots en aval du pont de la voie ferrée



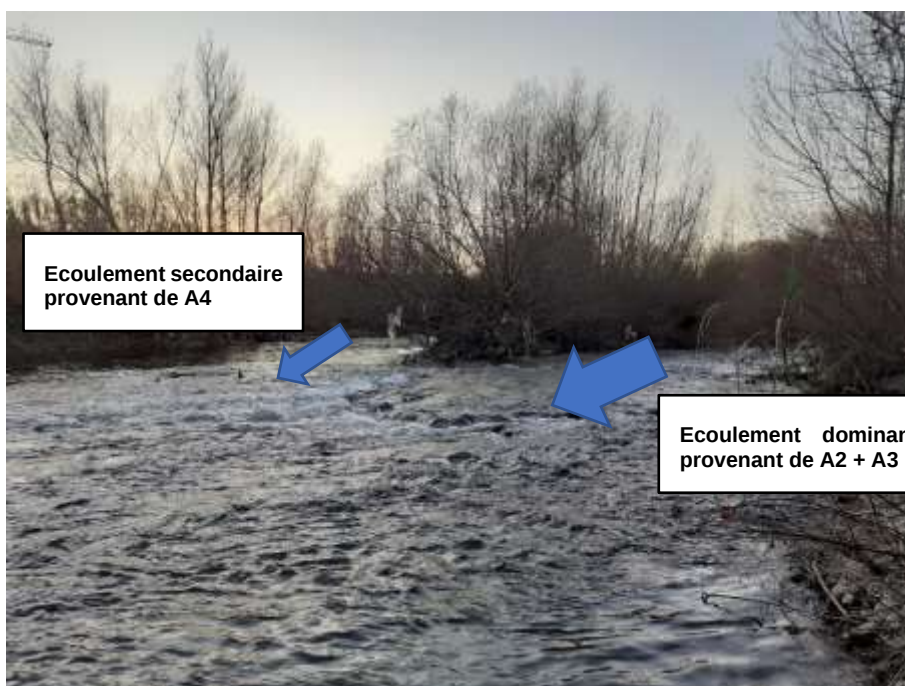
Vue du seuil en enrochements en rive gauche sous et en aval de l'arche A2



Vue de l'arche centrale (A3) depuis l'aval



Vue depuis l'aval de la confluence des bras à 160 m en aval du pont



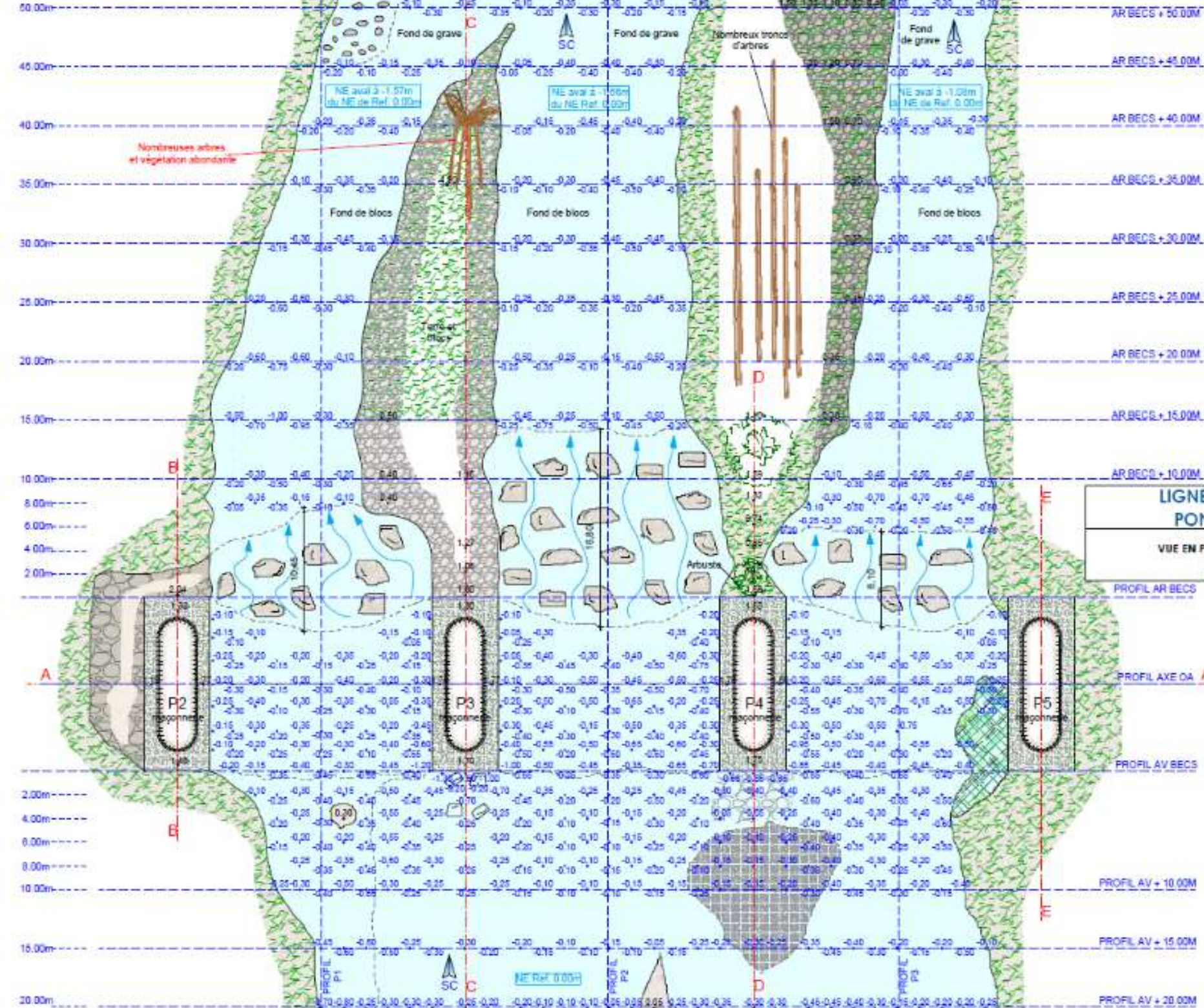
Vue depuis la passerelle des bras d'écoulements provenant de A2 et A3, de l'îlot qui les sépare et de leur confluence à 45 m environ en aval du pont – Ecoulement principal



Vue depuis la passerelle du bras d'écoulement droit provenant de A4 et de l'îlot qui le sépare du bras provenant de A3 – Ecoulement secondaire



La figure page suivante reporte un extrait du plan de l'ouvrage établi en **juillet 2020**.



DATE D'INSPECTION
MER. 15/07/20

LIGNE 677000 PK 467+042 PONT RAIL SUR LA TÊTE

VUE EN PLAN ET BATHYMETRIE Ech 1/300

Levé Bathymétrique

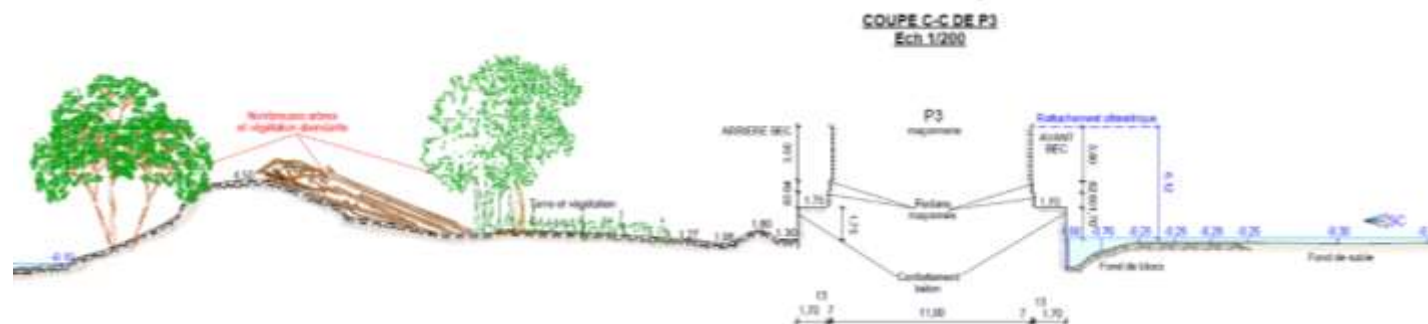
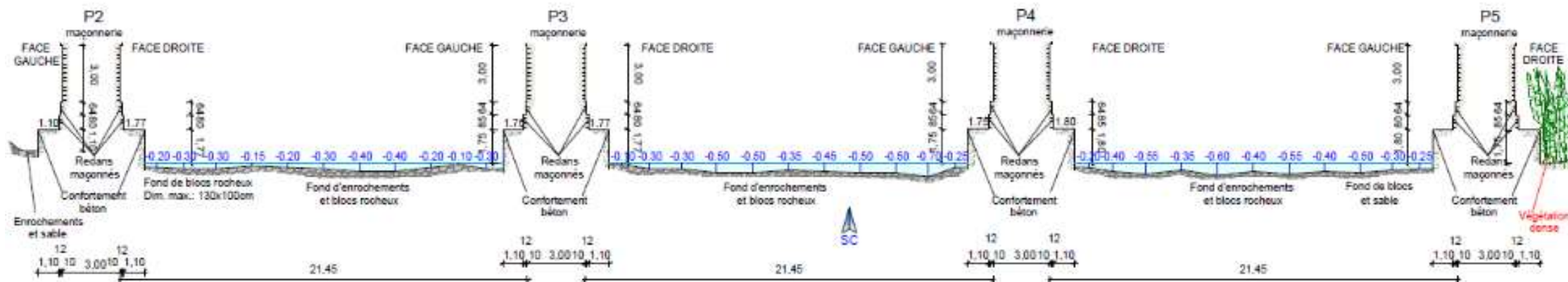


SATIF OA

www.satif-oa.fr

N°AFFAIRE 120007 | XB

COUPE A-A ET PROFIL AXE OA
Ech 1/200



Point de repère provisoire
fixé arbitrairement à 10 m
pour les besoins de l'étude

Avant bec face droite P3

En l'absence de rattachement du relevé bathymétrique dans le système altimétrique français de référence (NGF IGN 69), la cote du point de repère considéré par le prestataire en charge de la réalisation du relevé bathymétrique (couronnement supérieur de l'appui de l'avant bec de la pile P3) a été arbitrairement fixée à 10 m pour les besoins de l'étude.

Le tableau ci-après récapitule les principales caractéristiques altimétriques et dimensionnelles des seuils en enrochements au droit des arches en eau pour les régimes hydrologiques ordinaires.

Ouvrage	Caractéristiques	Sautret
Arche A2 (rive gauche)	Largeur seuil m	18.82
	Cote moyenne surverse m	3.78
	Cote moyenne fond amont m (entrée arche)	3.44
	Cote moyenne fond aval m (pied de chute	1.99
	Cote moyenne fond premier radier en aval m	2.13
Arche A3 (centrale)	Largeur seuil m	18.82
	Cote moyenne surverse m	3.78
	Cote moyenne fond amont m (entrée arche)	3.35
	Cote moyenne fond aval m (pied de chute	1.84
	Cote moyenne fond premier radier en aval m	1.95
Arche A4 (rive droite)	Largeur seuil m	18.82
	Cote moyenne surverse m	3.78
	Cote moyenne fond amont m (entrée arche)	3.34
	Cote moyenne fond aval m (pied de chute	2.4
	Cote moyenne fond premier radier en aval m	2.58

Tableau 1. Principales caractéristiques altimétriques et dimensionnelles des seuils en enrochements au droit des arches en eau (A2, A3 et A4)

4 PREDIMENSIONNEMENT DU PROJET

4.1 DESCRIPTION GENERALE DU TYPE DE DISPOSITIF DE FRANCHISSEMENT PISCICOLES ENVISAGE : PASSE A MACRORUGOSITES



Les passes à macrorugosités, encore appelées passes à enrochements régulièrement répartis, constituent des dispositifs de franchissements piscicoles où l'énergie est dissipée par des singularités formées de blocs isolés plus ou moins régulièrement répartis sur un coursier rugueux.

Ce type de dispositif permet de reproduire grossièrement les caractéristiques d'un cours d'eau naturel à forte pente.

Il peut être installé sur tout ou partie de la largeur d'un l'obstacle ou en rive.

L'objectif de l'aménagement est d'obtenir un écoulement pseudo-uniforme dans tout le dispositif sans apparition de singularités hydrauliques marquées susceptibles de constituer des points de blocage à la remontée du poisson.

La ligne d'eau est globalement parallèle au coursier et chaque bloc génère un sillage qui doit pouvoir constituer une zone de repos pour le poisson.

Les espacements entre blocs sont généralement voisins et sont déterminés en fonction de la pente du coursier, du débit dimensionnant et des capacités de franchissement des espèces piscicoles.

Ce type d'équipement est peu sélectif et donc susceptible de convenir à un large panel d'espèces piscicoles dès lors que le débit unitaire (quelques centaines de l/s/m) et la pente longitudinale (de **2% à 5%**) restent limités.

Le plus petites espèces y trouvent des conditions de franchissement facilitées au plus proche du coursier, où la rugosité de fond généralement mise en œuvre diminue fortement les vitesses d'écoulements.

Les passes à macrorugosités n'acceptent que de faibles variations de niveau d'eau amont, ce qui les destine généralement aux ouvrages à marnage amont faible (grande longueur déversante assurant un effet tampon sur la ligne d'eau et/ou barrages régulant leur plan d'eau amont).

Ce type de dispositif peut toutefois accepter des variations de lignes d'eau amont plus importantes à condition d'y prévoir un dévers latéral permettant d'obtenir, pour un niveau d'eau donné, des conditions de passage acceptables sur au moins une partie de la largeur de l'ouvrage.

Du fait de leur faible pente et de la nécessité pour les poissons de franchir l'aménagement de façon quasi-continue en nage active, la longueur des passes à macrorugosités doit être nécessairement limitée.

Elles ne sont donc adaptées qu'à des chutes faibles à modestes. Au-delà de **1.5 à 2 m** de chute, l'aménagement d'un obstacle par ce type de dispositif reste possible mais il convient alors de prévoir un bassin de repos entre 2 parties de rampes ou d'envisager la conception d'un dispositif de franchissement mixte (passe macrorugosités + passe à seuils déversants ou prébarrages par exemple).

Avantages	Inconvénients
Dispositif de franchissement toutes espèces Bon potentiel d'intégration architecturale et paysagère en site urbain et naturel Bonne attractivité ne nécessitant pas ou peu d'adjonction de débit complémentaire	Dispositifs adaptés à des hauteurs de chutes faibles à modérées Emprise importante des dispositifs Dispositifs sensibles aux embâcles pouvant nécessiter la mise en place de protections amont (drome flottante par exemple) ainsi qu'une surveillance régulière Dispositifs pouvant être contraints par la disponibilité de blocs de qualité et de dimension souhaitées en cas de recours à des enrochements naturels

Les passes à macrorugosités peuvent adopter des formes relativement variées et un caractère plus ou moins « rustique » en fonction des matériaux et des dispositions constructives envisagées :

- Exemple 1 : Passe à macrorugosités rustique formée par l'agencement de blocs d'enrochements naturels ancrés sur un radier souple formé d'une recharge de pierres-cailloux reposant sur une couche filtre alluvionnaire, et encadrée par des murs en enrochements libres ou maçonnés.** Cette forme d'aménagement permet une intégration paysagère optimale et s'avère la plus adaptée lorsque l'ouvrage est situé au sein du lit et recoupe partiellement l'extrémité d'un seuil à proximité d'une berge. Il ne peut être envisagé toutefois lorsqu'un devers latéral est prévu.

Passe à macrorugosités sur la Vienne – blocs, coursier et murs d'encadrement en enrochements naturels non maçonnés



Passe à macrorugosités sur le Clain – blocs, coursier et murs d'encadrement en enrochements naturels non maçonnés



- **Exemple 2 : Passe à macrorugosités formée par l'agencement de blocs d'enrochements naturels, reposant sur un radier béton et ancres au sein d'un coursier rugueux maçonné formé par l'agencement de pierres liaisonnées entre-elles et avec le radier sous-jacent, et encadrée par des murs en enrochements maçonnés ou en béton.** Cette forme d'aménagement assure une bonne intégration paysagère, et une plus grande solidité de l'ouvrage que l'exemple 1, et s'avère adaptée lorsque l'aménagement est situé complètement en berge (contournement du seuil), ou lorsqu'il est totalement intégré à un ouvrage existant, formant avec lui un ensemble structurel cohérent et stable.

Passe à macrorugosités sur la Charente – blocs, coursier et murs d'encadrement en enrochements naturels maçonnés



- **Exemple 3 : Passe à macrorugosités de même type que précédemment mais où les blocs d'enrochements sont remplacés par des menhirs en béton préfabriqués ou coulés sur place.** Cette forme d'aménagement permet de pallier à un éventuel déficit de blocs naturels de bonne qualité à proximité et de réduire les coûts de travaux mais au détriment de l'intégration paysagère de l'aménagement. L'habillage des murs d'encadrement (parements de pierres par exemple) peut toutefois être envisagé pour pallier à cet effet.

Passe à macrorugosités sur la Sarthe – Blocs en béton préfabriqués, murs d'encadrement en béton



Passe à macrorugosités sur la Creuse – Blocs en béton préfabriqués, murs d'encadrement en béton habillé de parements de pierres naturelles (Site Inscrit à forte valeur patrimoniale et paysagère)



4.2 CRITERES GENERAUX DE CONCEPTION DU DISPOSITIF DE FRANCHISSEMENT PISCICOLE

4.2.1 Hydrologie

Les débits moyens mensuels, débits de références et débits classés au droit du site de projet ont été extraits à partir de la station hydrométrique de la Têt à Perpignan (station Y0470030), couvrant la période **1970-2020**.

La Têt [partielle] à Perpignan

SYNTHESE : données hydrologiques de synthèse (1970 - 2019)

Calculées le 09/12/2019 - Intervalle de confiance : 95 %

Code Station : Y0474030

Producteur : DREAL Languedoc-Roussillon

Bassin versant : 1300 km²

E-mail : hydro.spcmo@developpement-durable.gouv.fr

Ecoulements mensuels (naturels) - données calculées sur 50 ans

	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Débits (m3/s)	9.240 #	8.550 #	10.00 #	12.50 #	19.50 #	12.20 #	3.460 #	2.520 #	4.700 #	8.420 #	9.670 #	11.20 #	9.330
Qsp (l/s/km2)	7.1 #	6.6 #	7.7 #	9.6 #	15.0 #	9.4 #	2.7 #	1.9 #	3.6 #	6.5 #	7.4 #	8.6 #	7.2
Lame d'eau (mm)	19 #	16 #	20 #	24 #	40 #	24 #	7 #	5 #	9 #	17 #	19 #	23 #	227

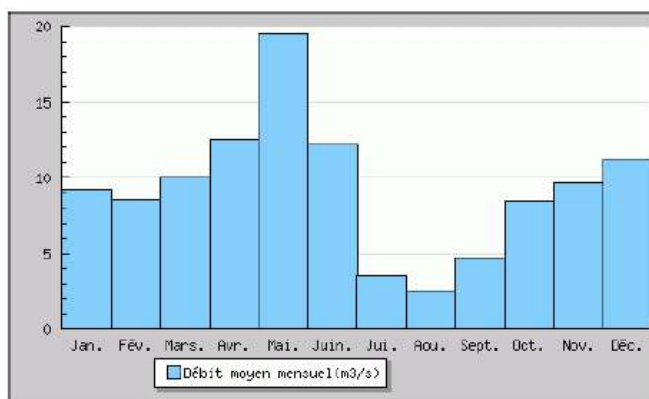
Qsp : débits spécifiques

Codes de validité d'une année-station :

- . + : au moins une valeur d'une station antérieure à été utilisée
- . P : le code de validité de l'année-station est provisoire
- . # : le code de validité de l'année-station est validé douteux
- . ? : le code de validité de l'année-station est invalidé
- . (espace) : le code de validité de l'année-station est validé bon

Codes de validité d'une donnée, d'un calcul:

- . ! : valeur reconstituée par le gestionnaire et jugée bonne
- . # : valeur 'estimée' (mesurée ou reconstituée) que le gestionnaire juge incertaine
- . E : la valeur retenue est une valeur estimée (à partir du rapport QIX/QJ)
- . L : une estimation a eu lieu (à cause d'une lacune dans la période étudiée) mais une valeur mesurée s'est révélée supérieure à l'estimation: la valeur mesurée a été retenue.
- . > : valeur inconnue forte
- . < : valeur inconnue faible
- . (espace) : valeur bonne



Modules interannuels (naturels) - données calculées sur 50 ans

Module (moyenne)	Fréquence	Quinquennale sèche	Médiane	Quinquennale humide
9.330 [7.970;10.90]	Débits (m3/s)	4.800 [3.900;5.600]	9.300 [7.300;12.00]	14.00 [12.00;17.00]

Figure 5. Extrait des données de synthèse de la station hydrométrique de la Têt à Perpignan sur la période 1970-2019 – Source : Banque Hydro

L'analyse de ces données met en évidence une forte variabilité annuelle des débits caractéristique d'un régime climatique pluvio-nival méditerranéen.

Les débits les plus importants s'observent d'**avril à juin** inclus, en lien avec la fonte des neiges dans les montagnes des Pyrénées, avec une pointe marquée en mai (débit moyen mensuel de **19.5 m³/s**).

Les débits baissent ensuite rapidement sur les mois d'été, en lien avec la faible pluviométrie et l'évapotranspiration importante, avec un minimum observé pour le mois d'août (débit moyen mensuel de **2.52 m³/s**).

Les débits augmentent ensuite continument et progressivement en automne puis se stabilisent à une valeur proche du régime moyen en hiver.

Il est ainsi observé un rapport de **1 à 8** entre le débit du mois le plus sec (août) et celui du mois le plus humide (mai), ce qui traduit un régime hydrologique particulièrement contrasté.

Le module interannuel, soit **9.33 m³/s**, est atteint ou dépassé $\frac{1}{4}$ du temps environ en année moyenne.

Le débit plancher réglementaire de 1/10^{ième} du module, soit **0.9 m³/s**, n'est quand à lui pas atteint ou dépassé **9%** du temps environ.

Le QMNA5 (0.74 m³/s), débit d'étiage de référence correspondant au débit mensuel minimum ayant une chance sur cinq d'être observé tous les ans, est proche du débit minimum réservé (DMR) et n'est pas atteint ou dépassé **8%** du temps environ.

A noter que le régime hydrologique de la Têt aval est fortement influencé par la gestion du barrage de Vinça situé à **30 km** de l'embouchure du fleuve et disposant d'un volume utile de **24.2 Mm³**.

L'ouvrage assure en effet une double fonction d'écrêtement des crues et de soutien d'étiage. Le barrage contrôle **940 km²** soit plus de **70%** de la surface totale du bassin versant de la Têt.

Un débit objectif d'étiage de **0.9 m³/s** a été fixé à Perpignan, correspondant à peu près au débit plancher réglementaire **de 1/10^{ième} du module** et au premier décile de débit classé (**DC10**, débit atteint ou dépassé **90%** du temps en année moyenne).

Les débits moyens mensuels, débits de références et débits classés estimés au droit du site de projet sont synthétisés dans le tableau page suivante.

	Régime hydrologique	Fréquences de non dépassement %	Débit m³/s
Débits classés m³/s	DC 90%	90%	20.70
	DC 80%	80%	11.60
	DC 70%	70%	7.84
	DC 60%	60%	5.57
	DC 50%	50%	4.29
	DC 40%	40%	3.19
	DC 30%	30%	2.31
	DC 20%	20%	1.61
	DC 10%	10%	0.88
Débits de référence m³/s	QMNA5	11%	0.75
	DMR	74%	0.93
	Module	88%	9.34
	Double module	74%	18.68
Débits moyens mensuels m³/s	Janv.	72%	9.24
	Fév.	76%	8.55
	Mars	81%	10.00
	Avr.	89%	12.50
	Mai	81%	19.50
	Juin	42%	12.20
	Juil.	32%	3.46
	Août	53%	2.52
	Sept.	72%	4.70
	Oct.	75%	8.42
	Nov.	79%	9.67
	Déc.	90%	11.30

Tableau 2. Débits moyens mensuels, débits de références et débits classés estimés au droit du site de projet sur la période 1970-2019

4.2.2 Lois de tarage au droit de la zone à aménager

Le tableau ci-dessous reporte les lignes d'eaux en amont et en aval immédiat de la zone à aménager (arche centrale A3), mesurées au théodolite au cours des différentes campagnes réalisées sur site pour différents régimes hydrologiques contrastés.

Date	Débit m3/s	Niveau d'eau aval m NGF	Niveau d'eau amont m NGF
15/07/2020	4.16	2.22	3.88
19/06/2020	16.6	2.77	4.12
14/01/2020	5.48	2.41	3.93
08/09/2020	4.3	2.24	3.9

Tableau 3. Lignes d'eaux mesurées en amont et en aval immédiat de la zone à aménager

En raison de l'hydrologie du cours d'eau plus fortement soutenue sur l'été **2020** que les années précédentes, les mesures ne couvrent qu'une partie de la gamme hydrologique de bon fonctionnement visée (mesures couvrants la gamme **DC50 → DC85** contre la gamme **DC10 → DC90** idéalement).

La courbe de tarage aval pour les plus faibles débits a donc été extrapolée (régression multiple d'ordre 2) en considérant un affleurement du niveau d'eau aval avec le fond du lit au droit de la première zone de haut fond/radier immédiatement en aval du seuil pour un débit nul.

Au-delà du régime médian, les valeurs de la courbe de tarage aval ont été interpolées et extrapolées pour les forts débits à l'aide d'une formulation de type Manning-Strickler (coefficient de Strickler de **25** et pente locale de **0.8%**), laquelle donne satisfaction au cm près pour les échantillons de valeurs mesurées les **14/01/2020** et **19/06/2020**.

La courbe de tarage amont a quant à elle été reproduite par une loi de seuil rectangulaire épais dénoyé, donnant satisfaction au cm près pour un coefficient de débit de **0.36**.

$$\text{Loi de seuil épais rectangulaire dénoyé} - Q = \mu \cdot L \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot H_{am}^{3/2}$$

Avec μ : coefficient de seuil, H_{am} : Charge amont en m, g : constante de gravitation égale à 9.81 m/s^2

La figure ci-après reporte l'évolution des lignes d'eau amont et amont estimées pour la gamme hydrologique de bon fonctionnement visée.

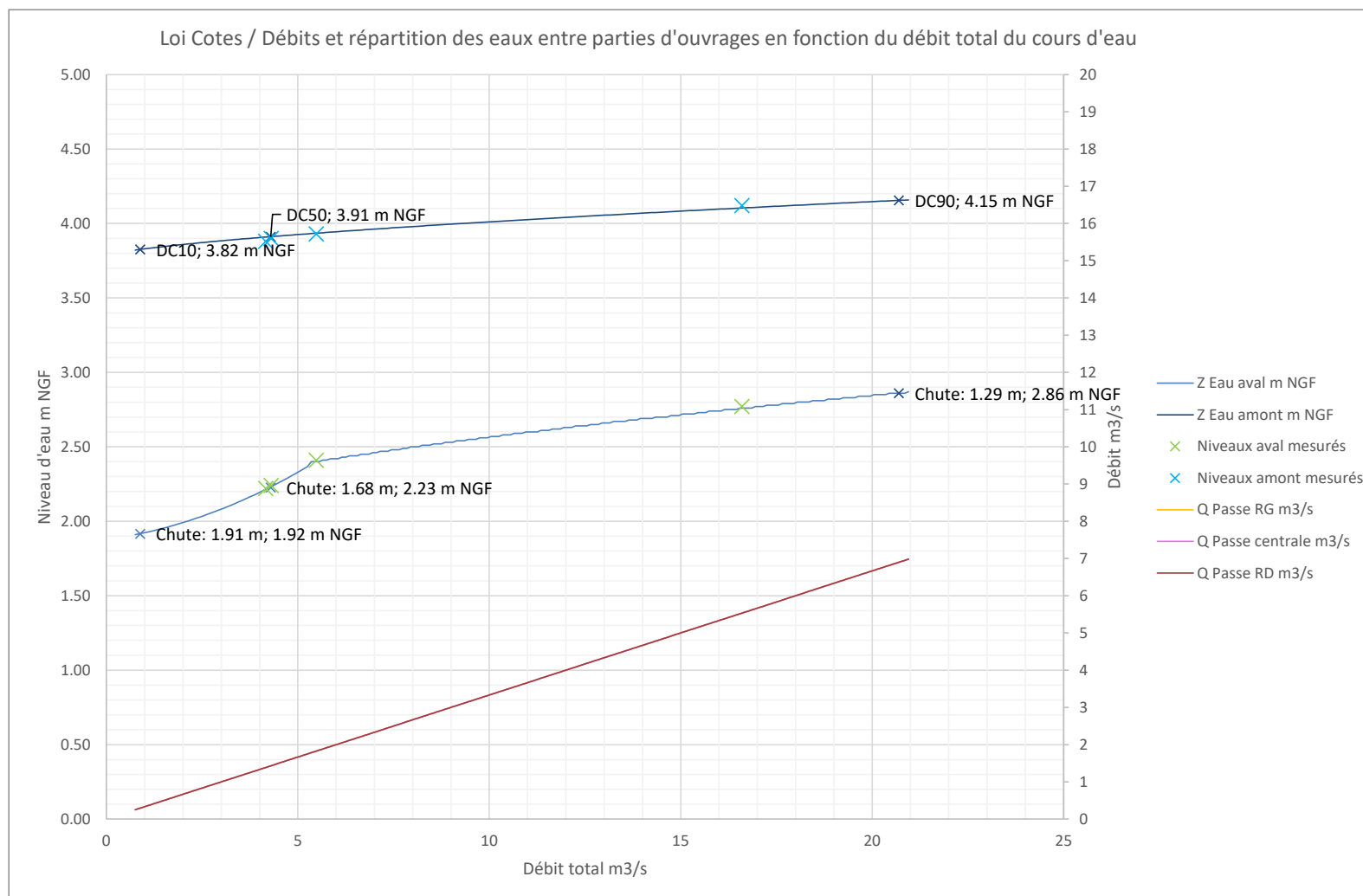


Figure 6. Loi de tarage amont/aval et répartition des eaux entre parties d'ouvrages en situation actuelle en fonction du débit total de la Têt

4.2.3 Espèces cibles dimensionnantes

Les échanges réalisés avec les partenaires techniques de l'étude (**OFB et FDPMA 66**) ont conduit à retenir le cortège d'espèces piscicoles suivantes :

- Espèces amphibiotiques : **anguille européenne, alose feinte** ;
- Espèces holobiotiques : **barbeau méridional**.

Celles-ci sont décrites brièvement dans les tableaux pages suivantes.

A noter que le peuplement piscicole sur la Têt aval est dominé par le goujon, le chevine, l'anguille et le mulot porc.

Le PDPG évoque à ce niveau un contexte piscicole cyprinicole perturbé.

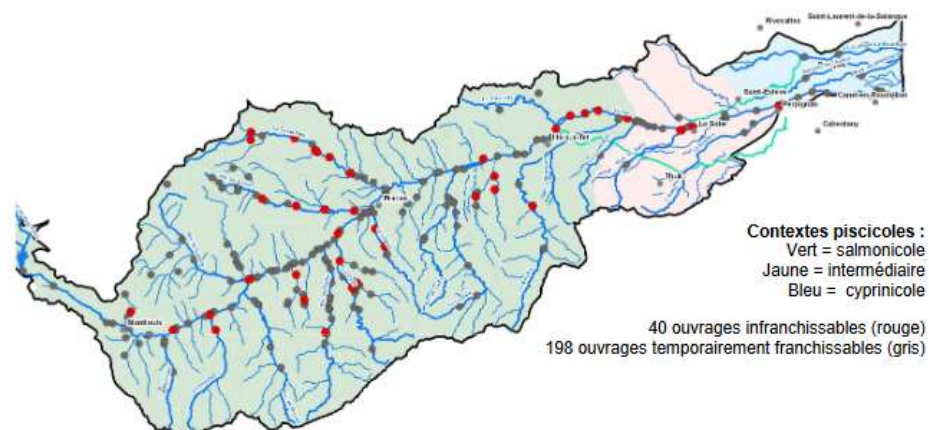


Figure 7. Contextes piscicoles sur la Têt et localisation des ouvrages faisant obstacle à la continuité écologique – Source : Syndicat Mixte du Bassin Versant de la Têt



Figure 8. Etat fonctionnalité des contextes piscicoles sur la Têt – Source : Syndicat Mixte du Bassin Versant de la Têt

Espèce	Photographie	Principales caractéristiques	Principales périodes de reproduction/migration
Grande Alose <i>Alosa alosa</i>		Espèce amphibiotique (2 milieux de vies : eaux douces continentales – eaux de mer) et potamotoque (migration de reproduction en eaux douces continentales) Reproduction privilégiée au niveau de fosses poursuivies en aval par des radiers présentant un fond constitué de galets et de graviers Taille des individus en migration ≈ 45 - 70 cm Vitesse de pointe ≈ 3.5 à 5.0 m/s Tirant d'eau minimum pour le franchissement par nage : 0.15 m Absence d'aptitude au saut pour le franchissement d'obstacles	Montaison : printemps/début été
Alose Feinte <i>Alosa fallax</i>		Espèce amphibiotique (2 milieux de vies : eaux douces continentales – eaux de mer) et potamotoque (migration de reproduction en eaux douces continentales) Reproduction privilégiée au niveau de fosses poursuivies en aval par des radiers présentant un fond constitué de galets et de graviers Taille des individus en migration ≈ 30 - 50 cm Vitesse de pointe ≈ 3 à 4.5 m/s Tirant d'eau minimum pour le franchissement par nage : 0.10 m Absence d'aptitude au saut pour le franchissement d'obstacles	Dévalaison : fin d'été/automne

Barbeau méridional <i>Barbus meridionalis</i>		Espèce holobiotique (1 milieu de vie : eaux douces continentales) et potamotoque (migration de reproduction en eaux douces continentales) Reproduction privilégiée au niveau de faciès d'écoulement de type « plat courants » avec fond constitué de graviers assez meubles et bien oxygénés Déplacements de reproduction pouvant atteindre plusieurs km Taille des individus en migration $\approx 10 - 30$ cm Vitesse de pointe ≈ 1.5 à 3 m/s Tirant d'eau minimum pour le franchissement par nage : 0.05 m Absence de réelles aptitudes au saut pour le franchissement d'obstacles Comportement migratoire peu connu – Aptitude de l'espèce à priori à trouver des voies de passage par nage dans les couches limites des écoulements	Migration de reproduction : printemps/début d'été
Anguille européenne <i>Anguilla anguilla</i>		Espèce amphibiotique (2 milieux de vie : eaux douces continentales – eaux de mer) et thalassotoque (migration de reproduction en mer) Faibles capacités de nage (0.3-0.5 m/s pour les civelles à 1-1.5 m/s pour les anguillettes et anguilles jaunes) Capacités de franchissement par reptation en eau et ponctuellement hors d'eau sur substrats rugueux et humides (reptation pour tirant d'eau < 0.02m) Absence d'aptitudes au saut pour le franchissement d'obstacles	Montaison : toute l'année potentiellement Dévalaison : automne/hiver principalement

Tableau 4. Description succincte des espèces cibles visées sur la Têt au droit de la zone de la zone de projet

4.2.4 Positionnement du dispositif de franchissement piscicole

D'une façon générale, le positionnement des dispositifs de franchissement piscicole est à privilégier, lorsque cela est possible, en pointe amont du déversoir principal si ce dernier présente une orientation biaisée par rapport au cours d'eau :

- Zone de moindre hauteur parfois à l'échelle d'un complexe hydraulique ;
- Zone(s) classiquement considérée(s) comme préférentielle(s) pour l'attractivité piscicole, les poissons ayant tendance à remonter le plus en amont possible en aval d'un obstacle ;
- Zone(s) plus facilement accessible(s) depuis la berge pour la construction et l'entretien ultérieur.

Lorsque cette disposition n'est pas envisageable, il convient de positionner le dispositif à proximité immédiate d'un ou plusieurs ouvrages permettant de soutenir son attractivité en concurrençant efficacement les débits dérivés par les autres parties d'ouvrages.

Dans le cas présent, l'ouvrage transversal est perpendiculaire au cours d'eau, ce qui n'est donc pas de nature à former spontanément une zone de regroupement des migrateurs sur l'une des deux rives.

Celle-ci est donc plutôt à relier à l'importance des débits dérivés par les différents bras d'écoulements en aval des arches.

Comme décrit précédemment, les écoulements en provenance des arches gauche (**A2**) et centrale (**A3**) sont dominants et plus rapides à la confluence avec le bras provenant de l'arche rive droite (**A4**) à **160 m** en aval.

L'attrait piscicole est donc plus important sur le bras gauche principal de la Têt que sur le bras droit .

Sur le bras gauche principal, le lit est un peu plus large et profond et l'accès plus direct à l'arche centrale qu'à celle située en rive gauche, les débits dérivés par chacune étant quant à eux relativement équivalents.

L'attrait piscicole semble donc être plus important au niveau de l'arche centrale. Setec Hydratec propose de retenir ce site pour le positionnement du dispositif.

A noter qu'il pourrait être opportun, en complément de l'aménagement à réaliser, de recréer des connexions entre bras d'écoulement au plus proche du pont (par rescindement des îles) pour laisser la possibilité aux espèces s'engageant dans les différents bras de rejoindre en pied de seuil l'axe central où doit trouver place le dispositif de franchissement.

4.2.5 Critères de dimensionnement hydraulique généraux

a) Gamme hydrologique de bon fonctionnement visée

D'une façon générale, compte tenu des déplacements potentiels des espèces piscicoles sur l'ensemble de l'année, il convient de s'assurer que les dispositifs de franchissement restent fonctionnels pour une large gamme de débits.

Dans le cas présent, la plage hydrologique minimale de bon fonctionnement proposée couvre les situations d'étiage (DC10) jusqu'aux hautes eaux annuelles (DC90), soit environ 80% du temps en année moyenne.

Le fonctionnement en mode « dégradé » des équipements peut être toléré en dehors de cette gamme, considérant les moindres besoins migratoires en période d'étiage sévère

d'une part, et les possibilités de passage directes au droit de l'ouvrage en situations de crues d'autre part.

A noter que les périodes de migration de l'alose et de déplacement du barbeau méridional sur le situent plutôt sur les mois d'**avril et mai** pour lesquels l'hydrologie du cours d'eau est plutôt abondante :

- Débit moyen du mois d'avril : **12.5 m³/s (DC81)**, soit un débit atteint ou dépassé **19%** du temps en année moyenne ;
- Débit moyen du mois de mai : **19.5 m³/s (DC89)**, soit un débit atteint ou dépassé **11%** du temps en année moyenne).

La fonctionnalité piscicole de l'aménagement doit donc être avant-tout optimisée pour les plus forts débits de la gamme de bon fonctionnement souhaitée. Une moindre fonctionnalité de l'aménagement pourra être tolérée pour l'alose en régime de très basses eaux.

b) Régime hydrologique dimensionnant

Le régime hydrologique dimensionnant est le régime pour lequel les conditions hydrologiques et hydrauliques à l'échelle du site sont les plus pénalisantes pour la plage hydrologique de bon fonctionnement visée.

Il correspond classiquement au débit minimal de la gamme pour laquelle :

- Le niveau amont est à la cote de retenue minimale souhaitable ou imposée ;
- Le niveau aval est le plus bas, et donc la hauteur de chute maximale.

Il convient parfois de dimensionner de façon sécuritaire pour le débit minimal lorsque la hauteur de chute maximale est observée pour un débit supérieur de façon à ce que les critères hydrauliques et piscicoles soient respectés sur l'ensemble de la plage hydrologique de bon fonctionnement visée.

Dans le cas présent, le dimensionnement est réalisé pour une situation hydrologique de très basses eaux, correspondant au premier décile de débit classé (DC10, débit atteint ou dépassé 90% du temps en année moyenne), soit un régime très proche du débit plancher réglementaire du 1/10^{ième} du module, en considérant un alignement du niveau d'eau amont sur la crête moyenne de seuil.

c) Débit minimum dimensionnant et répartition souhaitable des débits entre bras d'écoulement pour la gamme hydrologique de bon fonctionnement visée

A l'échelle d'un complexe hydraulique, le débit dimensionnant du dispositif de franchissement piscicole doit être suffisamment important pour concurrencer les débits dérivés par les autres parties d'ouvrages, et constituer un point d'attrait piscicole préférentiel à la sortie hydraulique (entrée piscicole) de l'aménagement.

Il doit donc être adapté à l'hydrologie du cours d'eau (au moins 5 à 10% du module interannuel pour ce même régime hydrologique) mais également à la configuration du site, notamment lorsque ce dernier présente des points d'attrait multiples et distants (un moulin sur chaque rive de part et d'autre d'un seuil par exemple, seuil en biais sur le cours d'eau avec pointe amont située sur la rive opposée à un moulin dérivant un débit conséquent, moulin en dérivation du cours principal et bras d'écoulements multiples etc).

Pour des cours d'eau de taille modeste, il peut être envisagé d'allouer à un équipement de franchissement piscicole la totalité du débit minimum réservé, soit le 1/10^{ième} du module interannuel au minimum, voire plus en fonction des usages du site.

Cette disposition s'avère difficilement envisageable sur des cours d'eau importants en raison des coûts prohibitifs induits par de tels équipements.

Dans une logique d'économie et d'efficacité des travaux (notion de gain écologique rapporté aux coûts des opérations), il apparaît dans ce cas préférable de partager le débit minimum réservé entre le dispositif de franchissement piscicole et un aménagement à proximité immédiate, pouvant prendre la forme d'un simple canal de dérivation ou d'un ouvrage mobile existant.

Dans le cas présent, il est proposé d'allouer au dispositif la totalité du premier décile de débit classé (DC10, soit franchissement la moitié du DMR (1/20^{ième} du module interannuel), pour un niveau d'eau amont aligné sur la crête moyenne de seuil.

Cela revient à considérer que la totalité du débit s'écoule par l'arche centrale en situation de très basses eaux et que les bras droit et gauche soient hors d'eau jusqu'à **10%** du temps en année moyenne pour les régimes de plus basses eaux.

Il n'apparaît pas souhaitable d'augmenter plus fortement la fréquence de déconnexion de ces bras pour ne pas impacter trop fortement le milieu naturel associé à ces derniers.

Par ailleurs, afin d'optimiser que l'attractivité piscicole du bras central, il apparaît souhaitable que la somme des débits dérivés par l'arche en rive gauche (A2), le dispositif de franchissement piscicole et l'arche centrale (sur la largeur restante de part et d'autre du dispositif) soit significativement supérieure aux débits dérivés par l'arche en rive droite. Les ordres de grandeurs suivants peuvent être recherchés sur la gamme hydrologique de bon fonctionnement visée:

- **DC10 :**
 - **A2 + passe + A3 : 100% débit total ;**
 - **A3 : 0% débit total ;**
- **DC50 :**
 - **A2 + passe + A3 $\approx$ 85% débit total ;**
 - **A3 $\approx$ 15% débit total ;**
- **DC90 :**
 - **A2 + passe + A3 $\approx$ 2/3 débit total ;**
 - **A3 $\approx$ 1/3 débit total.**

d) Critères piscicoles

Les critères hydrauliques et piscicoles synthétisés ci-après sont extraits des ouvrages de références suivants :

- *Guide Passe à poissons - Expertise et conception des ouvrages de franchissement, Larinier et al., 1994 ;*
- *Guide technique pour la conception des passes naturelles, GHAAPPE, 2006 ;*
- *Guide technique - Informations sur la Continuité Ecologique (ICE) – Evaluer le franchissement des obstacles par les poissons, principes et méthodes, ONEMA, 2014.*

Pour les espèces cibles en présence, les critères dimensionnels, hydrauliques et piscicoles admissibles pour le dimensionnement des passes à macrorugosités sont listés ci-après :

- Tirant d'eau minimal : **0.4 m**
 - Espèce limitante : alose ;
- Vitesse d'écoulement maximale dans les jets : **1.5 m/s**
 - Espèces limitantes : barbeau méridional, anguille ;
- Pente longitudinale : **4-5% maximum**
 - Espèces limitantes : barbeau méridional, anguille ;

- Pente transversale inférieure ou du même ordre de grandeur que la pente longitudinale ;
- Gamme pour les blocs : **0.3-0.6 m** ;
- Gamme à privilégier pour la concentration des blocs : **11 à 18%** ;
- Hauteur utile des blocs : **0.5-0.8 m**.

Dans le cas présent, le dimensionnement a veillé à ce que :

- Les hauteurs d'eau soient supérieures à **0.4 m** sur une largeur significative des aménagements (**2-3 m** minimum de largeur sur la totalité de la largeur de la passe pour la gamme hydrologique de bon fonctionnement). Cette disposition peut être obtenue en considérant une hauteur minimale au droit du côté le plus profond de **0.4 m**, considérant par ailleurs un dévers latéral de **5%** ;
- Les vitesses d'écoulements soient inférieures à **1.5 m/s** sur une largeur significative des aménagements (**40%** minimum pour la gamme hydrologique de bon fonctionnement).

La pente longitudinale retenue est de **5%**, ce qui est légèrement supérieur à la valeur maximale préconisée pour les petites espèces holobiotiques (**4%**).

La forte concentration des blocs proposée (**17.4%**), la disposition opposée des faces les plus planes des blocs à l'écoulement, la mise en place d'un dévers latéral et d'un coursier rugueux permettent toutefois de compenser cet effet par la limitation des vitesses d'écoulements maximales sur une largeur significative de l'aménagement.

La hauteur utile de blocs est de **0.5 m** et adaptée aux variations de niveau d'eau amont pour la plage hydrologique de bon fonctionnement visée.

Elle résulte d'un compromis entre objectifs contraires visant notamment à :

- Contenir totalement le plus longtemps et sur la plus grande largeur de passe possibles les écoulements entre les blocs, de façon à limiter les vitesses d'écoulements et garantir une bonne fonctionnalité piscicole de l'aménagement ;
- Favoriser l'ennoiment rapide des blocs en hautes eaux pour permettre une reprise naturelle des bois morts ayant pu s'accumuler en basses eaux, et éviter par ailleurs le blocage de corps flottants en période de crue.

Dans le cas présent, la hauteur de bloc a été choisie de façon à ce que l'ennoiment des blocs soit observé sur la moitié de la largeur de la passe pour le régime de hautes eaux dimensionnant, avec un dépassement des blocs les plus hauts pour ce débit de **0.25 m** maximum au droit des blocs les plus hauts.

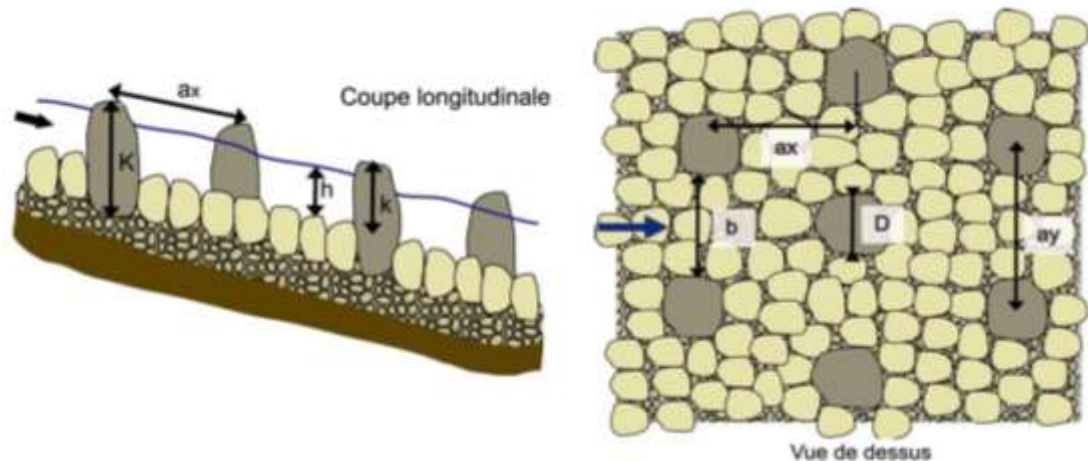
Il est vérifié par ailleurs que les blocs sont totalement ennoyés pour un régime hydrologique correspondant à cinq fois le module (**QJ= 46.7 m³/s** soit **DC97**, débit atteint ou dépassé **3 %** du temps en année moyenne).

La pente transversale retenue pour le coursier est de **5%**, comme la pente longitudinale de l'aménagement. Il est admis qu'une pente transversale supérieure à la pente longitudinale est à éviter pour ne pas risquer de former des écoulements transversaux dans la passe, délétères à son bon fonctionnement.

4.3 LOI DE DIMENSIONNEMENT DU DISPOSITIF DE FRANCHISSEMENT PISCICOLE ET METHODOLOGIE POUR L'ESTIMATION DES IMPACTS HYDRAULIQUES

4.3.1 Loi d'écoulement utilisée pour le dimensionnement de la passe à macrorugosités

La loi d'écoulement utilisée pour le dimensionnement hydraulique de la passe à macrorugosités est donnée dans le *Guide technique pour la conception des passes naturelles*, GHAAPPE, 2006.



Pour un écoulement totalement contenu entre les enrochements ($h/k < 1.1$), et des blocs de **0.5 m** de diamètre, les formules de débits dérivés unitaires (débit par mètre de largeur) sont les suivantes :

- Considérant des faces planes opposées à l'écoulement :

$$q = 1.475 \cdot h^{1.084} \cdot I^{0.56} \cdot C^{-0.456}$$

- Considérant des faces arrondies opposées à l'écoulement

$$q = 2.466 \cdot h^{1.45} \cdot I^{0.557} \cdot C^{-0.456}$$

$$C = \frac{D^2}{a_x \cdot a_y}$$

Avec Q : débit unitaire en $m^3/s/m$, I : pente longitudinale de l'aménagement en %, h : hauteur d'eau en m, C : concentration des blocs en %, D : Largeur face à l'écoulement des blocs en m, a_x : espacement longitudinal entre blocs, d'axe à axe en m, a_y : espacement latéral entre blocs, d'axe à axe en m.

Lorsque l'écoulement dépasse les enrochements ($h/k > 1.1$), la forme des blocs n'a plus beaucoup d'influence, une seule relation a donc été établie pour appréhender le comportement des ouvrages pour les forts débits

$$q = 5.566 \cdot h^{2.396} \cdot I^{0.466} \cdot C^{-0.230}$$

4.3.2 Méthodologie de calcul des impacts hydrauliques

Le calcul des impacts hydrauliques à l'échelle du complexe hydraulique nécessite d'intégrer les aménagements nouveaux au modèle d'écoulement initial et de calculer les lignes d'eau et débits dérivés par partie d'ouvrage pour l'ensemble des débits d'intérêts.

Ces derniers dépendent à la fois du niveau d'eau amont et du niveau aval, et donc du débit total du cours d'eau. Ils ne peuvent donc être prédéterminés à l'avance en fonction de l'unique charge hydraulique amont compte tenu du régime d'écoulement potentiellement noyé par l'aval.

Le calcul des débits dérivés par l'aménagement et des variables hydrauliques au sein de ce dernier doit alors être réalisé de façon itérative pour chaque niveau d'eau aval selon le processus suivant :

- Débit total du cours d'eau et niveau d'eau associé en aval immédiat du déversoir ;
- Attribution d'une valeur initiale du débit dérivé par le dispositif de franchissement piscicole ;
- Calcul itératif :
 - Calcul d'aval en amont de la ligne d'eau au sein du dispositif de franchissement piscicole ;
 - Calcul des débits dérivés par les autres parties d'ouvrages pour le niveau d'eau amont correspondant (formulation en régime noyé ou dénoyé en fonction du niveau d'eau aval) ;
 - Calcul de la somme des débits dérivés par le dispositif de franchissement piscicole et les autres parties d'ouvrages et comparaison au débit total correspondant au niveau d'eau aval ;
 - Arrêt du calcul en cas de correspondance des débits sinon augmentation ou diminution progressive du débit dérivé par l'aménagement et nouvelle itération des calculs jusqu'à ce que la somme des débits dérivés par parties d'ouvrages corresponde au débit total correspondant au niveau d'eau aval.

4.4 PRINCIPES DE DIMENSIONNEMENT ET DE FONCTIONNEMENT DES DISPOSITIFS DE FRANCHISSEMENT PISCICOLE

4.4.1 Critères de dimensionnement hydraulique

Le tableau ci-après récapitule les principaux critères de dimensionnement hydraulique considérés pour la conception du dispositif de franchissement piscicole.

Positionnement du dispositif	Arche centrale (A3)
Débit minimum dimensionnant m³/s	DC10 = 0.89 m ³ /s (≈ 1/10 ^{ème} module)
Ligne d'eau amont pour le débit minimum dimensionnant m	3.78 (cote seuil)
Ligne d'eau aval pour le débit minimum dimensionnant m	1.92
Chute pour le débit minimum dimensionnant m	1.86

Tableau 5. Critères de dimensionnement hydraulique

4.4.2 Caractéristiques du dispositif de franchissement de type passe macrorugosités

Le tableau ci-après récapitule les principales caractéristiques dimensionnelles considérées pour la conception de la passe à macrorugosités.

Pendage longitudinal (%)	5%
Pendage latéral (%)	5%
Orientation dévers	Côté le plus profond placé en rive droite (axe de plus forte profondeur en aval)
Longueur utile (m)	37.29
Longueur retenue compte tenu des contraintes d'implantation des blocs (m)	37.7
Largeur utile (m)	10
Cote inférieure coursier amont (m NGF) – Sommet de rugosité (+0.10 m / radier béton)	3.38
Cote supérieure coursier amont (m NGF) – Sommet de rugosité (+0.10 m / radier béton)	3.88
Cote inférieure coursier aval (m NGF) – Sommet de rugosité (+0.10 m / radier béton)	1.5
Cote supérieure coursier aval (m NGF) – Sommet de rugosité (+0.10 m / radier béton)	2.0
Plus grande largeur des blocs (m) opposée à l'écoulement	0.5
Hauteur utile des blocs (m)	0.5
Concentration des blocs %	17.4
Espacement longitudinal des blocs (m)	1.2
Espacement latéral des blocs (m)	1.2
Forme et disposition de blocs	Blocs bétons anguleux Face plane la plus grande opposée à l'écoulement
Nombre de rangées de blocs	32
Nombre de blocs	272 (16x9 + 8x9)

Tableau 6. Caractéristiques du dispositif de franchissement de type passe macrorugosités

4.4.3 Fonctionnement à l'échelle du complexe hydraulique

La figure et le tableau pages suivantes reportent les courbes de niveaux et débits dérivés par partie d'ouvrage qui s'établissent de part et d'autre de l'ouvrage en situation aménagée pour la gamme de débit d'intérêt (**DC10 → DC90**).

L'analyse de ces données appelle aux commentaires suivants :

- **En régime de basses eaux dimensionnant (DC10)**, le dispositif de franchissement dérive la totalité du débit de la Têt, conformément aux critères de conception. La hauteur de chute maximale est observée pour ce régime (**1.86 m**) ;
- **En régime médian (DC50)**, la passe à macrorugosités dérive $\approx 1.52 \text{ m}^3/\text{s}$, soit $\approx 1/3$ du débit total de la Têt. Les débits dérivés par l'arche en rive gauche et le restant de l'arche centrale augmentent la part de débit dérivé par le bras gauche à la confluence aval à hauteur de $\approx 3/4$ du débit total ce qui est conforme aux critères de conception. La hauteur de chute apparaît significativement diminuée par rapport au régime de basses eaux dimensionnant du fait de l'augmentation plus rapide du niveau d'eau aval que le niveau amont avec l'élévation du débit tout en restant relativement conséquente pour ce type de dispositif de franchissement (**1.67 m**) ;
- **En régime de hautes eaux dimensionnant (DC90)**, la passe à macrorugosités dérive $\approx 4.62 \text{ m}^3/\text{s}$, soit $\approx 22\%$ du débit total de la Têt. Les débits dérivés par l'arche en rive gauche et le restant de l'arche centrale augmentent la part de débit dérivé par le bras gauche à la confluence aval à hauteur de $\approx 2/3$ du débit total ce qui est conforme aux critères de conception. La hauteur de chute est de l'ordre de **1.28 m** pour ce régime, et s'avère pleinement compatible avec la fonctionnalité de ce type de dispositif ;
- Le marnage de ligne d'eau amont est modeste, de l'ordre de **0.36 m** entre **DC10** et **DC90**. Ainsi, pour le régime de hautes eaux dimensionnant (**DC90**), la moitié des blocs sont noyés et les blocs les plus hauts ne dépassent que de **0.24 m** ce qui est conforme aux critères de conception ;
- L'impact du projet sur la ligne d'eau amont est faible. Il est maximal à l'étiage (**-0.05 m à DC10**) et tend à diminuer avec l'élévation du débit du cours d'eau (**-0.02 m à DC50 et -0.01 m à DC90**) ;
- L'impact sur l'alimentation du bras droit est fort à l'étiage avec notamment une rupture d'alimentation **10%** du temps en année moyenne (au profit de l'alimentation du dispositif de franchissement piscicole).

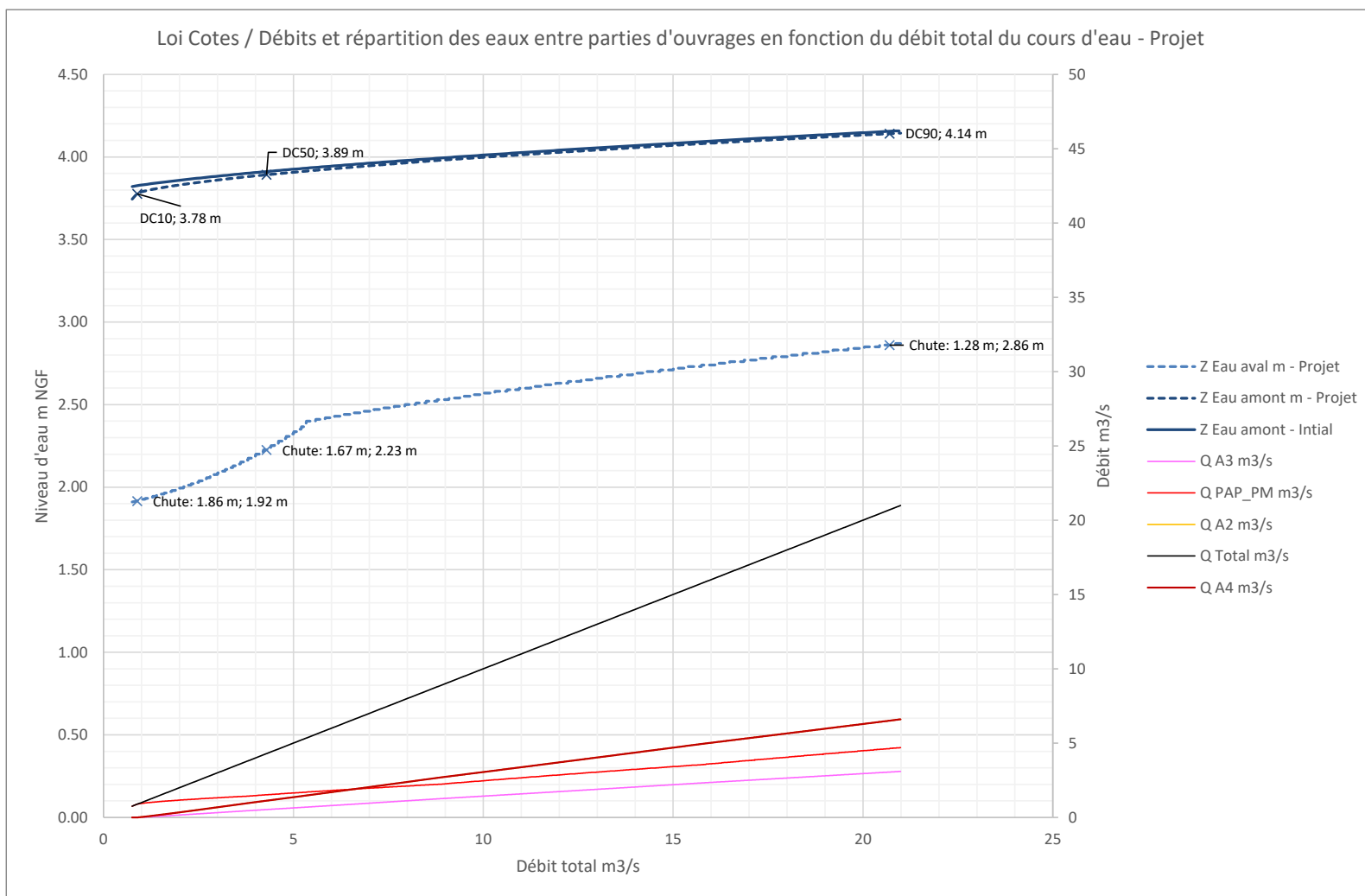


Figure 9. Loi de tarage amont/aval et répartition des eaux entre parties d'ouvrages en situation aménagée fonction du débit total de la Têt

Régime hydrologique	DC10	DC20	DC30	DC40	DC50	DC60	DC70	DC80	DC90
Répartition des débits entre les parties d'ouvrages									
Q Total m3/s	0.88	1.61	2.31	3.19	4.29	5.57	7.84	11.60	20.70
Q PAP PM m3/s	0.88	1.09	1.22	1.35	1.52	1.74	2.09	2.79	4.62
Q A2 m3/s	0.00	0.21	0.44	0.75	1.12	1.55	2.33	3.57	6.51
Q A3 m3/s	0.00	0.10	0.21	0.35	0.53	0.73	1.09	1.67	3.05
Q A4 m3/s	0.00	0.21	0.44	0.75	1.12	1.55	2.33	3.57	6.51
Répartition des débits entre les parties d'ouvrages / Débit total									
Q PAP PM %	100%	68%	53%	42%	35%	31%	27%	24%	22%
Q A2 %	0%	13%	19%	23%	26%	28%	30%	31%	31%
Q A3 %	0%	6%	9%	11%	12%	13%	14%	14%	15%
Q A4 %	0%	13%	19%	23%	26%	28%	30%	31%	31%
Niveaux d'eau en amont et en aval									
Z amont m	3.78	3.82	3.84	3.87	3.89	3.92	3.96	4.02	4.14
Z aval m	1.92	1.97	2.02	2.10	2.23	2.40	2.49	2.62	2.86
Chute totale m	1.86	1.85	1.82	1.77	1.67	1.52	1.47	1.40	1.28
Impacts du projet sur le niveau d'eau amont									
ΔZ amont m - Projet - Initial	-0.05	-0.03	-0.03	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01

Tableau 7. Lignes d'eau et répartition des eaux entre parties d'ouvrages en fonction du débit total de la Têt

4.4.4 Fonctionnalité hydraulique et piscicole du dispositif de franchissement piscicole

Le tableau page suivante synthétise les principaux critères d'appréciations de la fonctionnalité hydraulique et piscicole de la passe à macrorugosités.

Les critères de fonctionnalités retenus par espèces ou groupe d'espèce considéré sont les suivants :

- Alose : vitesse maximale entre les jets $< 2 \text{ m/s}$, hauteur d'eau minimum : **0.4 m** ;
- Barbeau méridional : vitesse maximale entre les jets $< 1.5 \text{ m/s}$, hauteur d'eau minimum : **0.2 m** ;
- Anguille : vitesse maximale entre les jets $< 1.5 \text{ m/s}$, hauteur d'eau minimum : **0.05 m**.

Compte tenu du pendage latéral donné à l'aménagement, les variables hydrauliques sont calculées par tranche d'ouvrage, correspondant pour chacune à $1/10^{\text{ème}}$ de la largeur totale de la passe (soit des tranches de **1 m** de large dans le cas présent).

La fonctionnalité du dispositif est alors jugée selon les critères d'appréciation suivants :

- **Très bon** : plus de 50% de la largeur de la passe est pleinement fonctionnelle pour l'espèce ou le groupe d'espèce considéré ;
- **Bon** : la passe est pleinement fonctionnelle pour l'espèce ou le groupe d'espèce considéré sur plus de 20% de sa largeur et jusqu'à 50% ;
- **Passable** : la passe est pleinement fonctionnelle pour l'espèce ou le groupe d'espèce considéré sur plus de 10% de sa largeur et jusqu'à 20% ;
- **Mauvais** : la passe est pleinement fonctionnelle pour l'espèce ou le groupe d'espèce considéré sur moins de 10% de sa largeur.

Il apparaît que la passe à macrorugosités présente :

- **Une bonne fonctionnalité pour l'Alose à partir du DC40** et une moindre fonctionnalité pour les plus faibles débits. Pour le débit minimum de la gamme (**DC10**), la hauteur d'eau maximale est de **0.4 m** à l'extrémité la plus profonde (**0.37 m** en moyenne sur la tranche de **1 m** de large) soit la valeur minimale réputée admissible pour l'espèce. De ce fait la fonctionnalité de l'aménagement est très faible pour ce débit. Améliorer la fonctionnalité pour cette espèce et pour les très faibles débits reviendrait toutefois à devoir approfondir et augmenter la section d'entrée et le débit dérivé (puisque'il est admis par ailleurs qu'il n'est pas souhaitable d'adopter un dévers plus pentu que la pente longitudinale, elle-même limitée à **5%** par les espèces cibles considérées, pour ne pas risquer d'initier des écoulements transversaux dans la passe) ce qui se traduirait par une déconnexion plus longue des bras d'écoulements en provenance des arches gauche et droite, situation non souhaitable pour le bon fonctionnement du milieu aquatique (le bras droit pouvant être potentiellement déconnecté sur un linéaire significatif de l'ordre **160 m**). Comme précisé précédemment, la période de montaison de l'aloise est concentrée ici sur les mois d'**avril et mai** soit à une période d'hydrologie favorable (**≈DC80-DC90**) où les débits sont compatibles avec une bonne fonctionnalité piscicole de l'ouvrage (pleinement fonctionnel pour ces débits sur au moins **30 %** de sa largeur soit sur **3 m** de large). **A noter que la largeur pleinement fonctionnelle peut être sous-estimée pour les forts débits dans la mesure où il n'est pas exclu que l'espèce puisse franchir le dispositif par nage dans la lame d'eau peu turbulente s'écoulant au-dessus des menhirs noyés les plus bas sur la largeur de l'ouvrage ;**

- **Une bonne à très bonne fonctionnalité de l'aménagement sur l'ensemble de la gamme hydrologique de bon fonctionnement visée pour le barbeau méridional, l'anguille et d'une façon générale pour l'ensemble des petites espèces.** Cela est permis par la forte limitation des vitesses d'écoulements dans les jets, significativement inférieure à la valeur maximale réputée admissible pour ces espèces (**1.5 m/s**), elle-même liée à la forte concentration retenue pour les blocs (**17.4%**). **Dans le cas présent, cet effet doit être nécessairement recherché pour compenser la grande longueur d'ouvrage à franchir**, notamment en basses eaux lorsque la chute d'eau est la plus importante. A noter que le dévers transversal proposé permet de conserver une zone de très faible hauteur d'eau (**< 0.1 m**) sur le côté le moins profond jusqu'au **DC70**, constituant une voie empruntable par l'anguille pouvant à ce niveau mobiliser ses facultés de reptation sur substrat rugueux et humides.

Régime hydrologique	DC10	DC20	DC30	DC40	DC50	DC60	DC70	DC80	DC90
Q Total m3/s	0.9	1.6	2.3	3.2	4.3	5.6	7.8	11.6	20.7
Z amont m NGF	3.78	3.82	3.84	3.87	3.89	3.92	3.96	4.02	4.14
Z aval m NGF	1.92	1.97	2.02	2.10	2.23	2.40	2.49	2.62	2.86
Chute totale m	1.86	1.85	1.82	1.77	1.67	1.52	1.47	1.40	1.28
Hauteur d'eau maximale m	0.37	0.41	0.44	0.46	0.49	0.51	0.56	0.62	0.74
Hauteur d'eau minimale m	0.02	0.01	0.04	0.01	0.04	0.06	0.11	0.17	0.29
Hauteur d'eau moyenne m	0.20	0.21	0.24	0.24	0.26	0.29	0.33	0.39	0.51
Vitesse maximale dans les jets maximale m/s	1.23	1.27	1.29	1.31	1.33	1.35	1.34	1.35	1.36
Vitesse maximale dans les jets minimale m/s	0.57	0.48	0.65	0.47	0.66	0.77	0.88	0.99	1.15
Vitesse maximale dans les jets moyenne m/s	0.90	0.87	0.97	0.89	0.99	1.06	1.11	1.17	1.25
% Très bon fonctionnement - Alose V<2 m/s - H>0.4 m - P<600 W/m2	0%	10%	10%	20%	20%	30%	30%	30%	30%
% Très bon fonctionnement - Barbeau méridional V<1.5 m/s - H>0.2 m - P<300 W/m3	40%	50%	50%	60%	60%	70%	70%	70%	60%
% Très bon fonctionnement - Anguille V<1.5 m/s - H>0.05 m - P<300 W/m3	70%	80%	80%	90%	90%	100%	90%	80%	60%
% Très bon fonctionnement - Petites espèces V<1.5 m/s - H>0.2 m - P<300W/m3	40%	50%	50%	60%	60%	70%	70%	70%	60%

Tableau 8. Critères de fonctionnement hydrauliques et piscicoles de la passe macrorugosités

4.5 POSITIONNEMENT DU DISPOSITIF DE FRANCHISSEMENT PISCICOLE

La figure page suivante reporte le positionnement possible du dispositif de franchissement piscicole au droit de l'arche centrale (**A3**) selon les éléments de dimensionnement présentés précédemment.

5 ANNEXES

5.1 DONNEES DE SYNTHESE A LA STATION HYDROMETRIQUE DE LA TET (STATION Y0470030) A PERPIGNAN (1970-2019)

5.2 RELEVÉ BATHYMETRIQUE DU SITE (SATIF OA 2020)