

EMETTEUR MTBE sa	DATE 27/09/22
OBJET Projet hydroélectrique au niveau du seuil du moulin de la Roche, Lury-sur-Arnon	
CONTENU DU DOCUMENT : Mémoire technique d'autorisation environnementale unique pour l'installation d'une centrale hydroélectrique et pour la mise en conformité environnementale du seuil du moulin de la Roche, Lury-sur-Arnon	



mtbe

MERYTHERM BUREAU D'ÉTUDE

DEMANDEUR Les Eaux Vives de Lury SAS Représenté par Sébastien Lecomte	REALISATION Laetitia Delbeke
MTBE sa Avenue Guillaume d'Orange 111, B-4100 Seraing Belgique Tel : +32 (0)4 325 08 00 Mail contact : hydro@mtbe.be Web : www.mtbe.be	REVUE ET VALIDATION Christophe Burton
	REFERENCE 22_EXP_095_v00

Table des matières

1. Objet.....	8
2. Situation existante	9
2.1. Reportage photographique.....	9
2.2. Relevés bathymétrique et topographique.....	15
2.3. Ouvrages.....	15
2.3.1. Bâtiment et canal d'amenée.....	15
2.3.2. Seuil	16
2.3.3. Turbines et prises d'eau	16
2.3.4. Sortie des chambres d'eau et bief de restitution.....	16
2.3.5. Passe à poissons	16
2.3.6. Vannage.....	17
2.3.7. Accès.....	17
3. Analyse hydrologique	18
3.1. Station de mesure des débits	18
3.2. Plage de débits pris en considération	19
3.3. Rapport de superficie de bassin versant et particularités du site	19
3.3.1. Réseau hydrographique	19
3.3.2. Rapports de bassins versants	21
3.3.3. Rivière Neuve.....	21
3.3.4. Méthodologie finale.....	22
3.4. Analyse des données	22
3.4.1. Evolution des débits.....	22
3.4.2. Statistiques des données.....	24
4. Situation projetée et objectifs visés	26
4.1. Turbines.....	26
4.2. Vantellerie.....	27
4.2.1. Vannes de garde.....	27
4.2.2. Vannes du seuil	27
4.3. Plan de grille et prise d'eau	28
4.4. Dégrilleur	28
4.5. Eléments électromécaniques.....	28
4.5.1. Sondes de niveaux	29
4.6. Ferronnerie	29

4.6.1.	Caillebotis.....	29
4.7.	Ouvrages de génie civil.....	29
5.	Étude hydraulique.....	31
5.1.	Données de base.....	31
5.1.1.	Données topographiques et bathymétriques.....	31
5.1.2.	Campagne de mesure des niveaux d'eau.....	31
5.2.	Méthodologie.....	32
5.2.1.	Débits étudiés.....	33
5.2.2.	Démarche proposée.....	33
5.3.	Hypothèses de simulation.....	34
5.3.1.	Considérations générales.....	34
5.3.2.	Modélisation de la situation existante.....	35
5.3.3.	Modélisation de la situation projetée.....	38
5.3.4.	Résultats.....	39
6.	Continuité écologique.....	42
6.1.	Continuité piscicole.....	42
6.1.1.	Situation existante.....	42
6.1.2.	Débit réservé.....	42
6.1.3.	Montaison - Passe à poissons.....	43
6.1.4.	Dévalaison.....	58
6.2.	Continuité sédimentaire.....	60
6.2.1.	Situation existante.....	60
6.2.2.	Situation projetée.....	60
7.	Méthodologie de mise en œuvre.....	61
7.1.	Préparation de chantier.....	61
7.2.	Aménagement des accès.....	62
7.3.	Mise en place des batardeaux.....	62
7.4.	Mise à sec de la zone de chantier.....	64
7.5.	Excavation.....	66
7.6.	Mise en œuvre des ouvrages de génie civil.....	66
7.7.	Installation des éléments électromécaniques.....	67
7.8.	Génie civil de seconde phase.....	67
7.9.	Remise en état du site.....	67
7.10.	Mise en service et raccordement électrique.....	67
7.11.	Planning.....	68

8.	Phase d'exploitation.....	69
8.1.	Le pilotage.....	69
8.1.1.	Capteurs.....	70
8.1.2.	Contrôle commande.....	70
8.1.3.	Organes de régulation.....	71
8.2.	Régime hydraulique en situation projetée.....	71
8.3.	Allocation des débits.....	72
8.4.	Entretien et suivi de la centrale.....	72
8.5.	Moyens d'interventions en cas d'incident.....	73
8.1.	Production électrique.....	74
9.	Conclusion.....	75

Liste des figures

Figure 1 : Organisation spatiale au droit du site du moulin de la Roche.	9
Figure 2 : Vue aérienne des prises de vue (PV) ci-dessous.....	10
Figure 3 : PV1 - Vue vers le seuil et les trois vannes (source : MTBE, 2021).....	10
Figure 4 : PV 2 - Vue vers le barrage et les trois vannes (source : Aubry & Associés, nd.).....	11
Figure 5 : PV3 - Vue vers la centrale actuelle (source : Aubry & Associés, nd).....	11
Figure 6 : PV4 - Vue vers la vanne de décharge 1.....	12
Figure 7 : PV5 - Vue vers la vanne de décharge 2.....	13
Figure 8 : Turbine de type Kaplan installée dans le moulin de la Roche (source : MTBE, 2021)..	14
Figure 9 : Turbine de type Fontaine installée dans le moulin de la Roche (source : Aubry & associés, nd).....	15
Figure 10 : Qualité et disponibilité des données hydrologiques au niveau de la station Arnon à Méreau (source : hydro.eaufrance.fr).....	19
Figure 11 : Réseau hydrographique au droit du projet.....	20
Figure 12 : Méthodologie générale appliquée pour l'analyse hydrologique du site projeté.	22
Figure 13 : Evolution annuelle des débits, pour une année sèche, pluvieuse et en moyenne (source données : Hydro.eaufrance.fr).....	23
Figure 14 : Débits classés annuels, pour une année sèche, pluvieuse et moyenne (source données : Hydro.eaufrance.fr).....	24
Figure 15 : Schématisation du modèle hydraulique utilisé.....	36
Figure 16. Profil en long du segment concerné de l'Arnon.....	37
Figure 17. Seuil existant du moulin de La Roche.....	38
Figure 18. Situation projetée du seuil du moulin de La Roche (vue de l'amont).....	39
Figure 19. Vérification du calibrage du modèle.....	40
Figure 20 : Principales périodes de migration des espèces holobiotiques (source : ONEMA, 2013).	56
Figure 21 : Bumper compressible fixé sur les pales à l'entrée de vis d'Archimède.....	58
Figure 22 : Représentation schématique d'une centrale à vis d'Archimède.....	59
Figure 23 : Profil en long n°1 issus des plans (annexe 2).....	60
Figure 24 : Evolution des débits journaliers 2003-2021 observés au niveau du site en projet, pour la période de travaux (source : hydro.eaufrance.fr).....	63
Figure 25 : Schématisation du fonctionnement par automate d'une centrale hydroélectrique.	69

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques principales des unités de production du moulin de la Roche.	16
Tableau 2 : Caractéristiques de la station de mesure des débits (station : l'Arnon à Méreau).....	18
Tableau 3 : Caractéristiques de la station de mesure des débits (station : l'Arnon à Méreau).....	21
Tableau 4 : Allocation des débits entre la Rivière Neuve et l'Arnon au droit du clapet de Fussay selon le BE Arcadis (2021, disponible en annexe 8).	21
Tableau 5 : Débits minimums, maximums et moyens (en m ³ /s) sur l'Arnon au droit du projet (source données : Hydro.eaufrance.fr).	23
Tableau 6 : QMNA au niveau de la station de mesure à Méreau et au droit du projet (données sur la période 11/1996 au 04/2022, source : Hydro.eaufrance.fr).....	24
Tableau 7 : Fréquence d'observation des débits moyens sur l'Arnon au droit du projet (source données : Hydro.eaufrance.fr).....	24
Tableau 8 : Caractéristiques techniques des turbines projetées (sources : constructeurs).....	26
Tableau 9 : Caractéristiques des vannes de garde.	27
Tableau 10 : Caractéristiques des plans de grilles.	28
Tableau 11 : Campagne de mesure des niveaux d'eau au droit du site.....	32
Tableau 12. Caractéristiques du groupe de production hydroélectrique.	34
Tableau 13. Allocation des débits en situation projetée.....	34
Tableau 14. Coefficients de Manning et de déversement.	40
Tableau 15. Evolution des niveaux d'eau (NE) amont et aval et de la chute en situation projetée pour les débits caractéristiques et en condition de centrale en fonctionnement.	41
Tableau 16. Evolution des niveaux d'eau (NE) amont et aval et de la chute en situation projetée pour les débits caractéristiques et en condition de centrale à l'arrêt.....	41
Tableau 17 : Paramètres de dimensionnement de la passe à poissons.....	44
Tableau 18 : Caractéristiques altimétriques et géométriques de la passe à poissons.	45
Tableau 19 : Simulation hydraulique de la passe à poissons à l'étiage (1,46 m ³ /s) et en condition de centrale en fonctionnement.....	46
Tableau 20 : Simulation hydraulique de la passe à poissons à l'étiage (1,46 m ³ /s) et en condition de centrale à l'arrêt.	46
Tableau 21 : Simulation hydraulique de la passe à poissons au module (9,3 m ³ /s) et en condition de centrale en fonctionnement.....	48
Tableau 22 : Simulation hydraulique de la passe à poissons au module (9,3 m ³ /s) et en condition de centrale à l'arrêt.	49
Tableau 23 : Simulation hydraulique de la passe à poissons à 2MIA (18,6 m ³ /s) et en condition de centrale en fonctionnement.....	50

Tableau 24 : Simulation hydraulique de la passe à poissons à 2MIA (18,6 m ³ /s) et en condition de centrale à l'arrêt	51
Tableau 25 : Simulation hydraulique de la passe à poissons à 3MIA (27,8 m ³ /s) et en condition de centrale en fonctionnement.....	52
Tableau 26 : Simulation hydraulique de la passe à poissons à 3MIA (27,8 m ³ /s) et en condition de centrale à l'arrêt.	53
Tableau 27 : Allocation d'eau et attractivité de la passe à poissons.....	57
Tableau 28 : Données utilisées pour la détermination des niveaux d'eau.....	63
Tableau 30 : Exemple d'un dimensionnement type d'un bassin de décantation.	65
Tableau 31 : Planning général de mise en œuvre.....	68
Tableau 32 : Catégories de capteurs prévus pour la centrale.....	70
Tableau 33 : Moyen de régulation du niveau d'eau amont.....	71
Tableau 34 : Allocation des débits (PAP = passe à poissons).....	72

1. Objet

Le projet hydroélectrique au droit du seuil du moulin de la Roche (commune de Lury-sur-Arnon, 18120) a fait l'objet d'un développement technique en phase d'avant-projet. Le présent document est rédigé pour communiquer l'ensemble de ces éléments et expliquer les choix de développement retenus.

L'objectif du développement ici renseigné est multiple :

- Optimiser la production d'électricité à partir de la force motrice de l'eau ;
- Assurer la bonne fonctionnalité et la pérennité de l'ensemble des ouvrages, en ce compris, les ouvrages de franchissement piscicole ;
- Apporter une logique de gestion et de fonctionnement entre les différents ouvrages ;
- Assurer la sécurité du bâti existant ;
- Adopter une démarche qui puisse être identifiée au travers des trois piliers du développement durable (social, environnemental et économique).

Ce mémoire fera état de la situation existante ainsi que du contexte hydrologique. La situation projetée sera ensuite présentée, liée à une étude hydraulique.

2. Situation existante

Le site du moulin de la Roche est composé d'un seuil de déviation des eaux vers un bief qui mène à la centrale, elle-même composée d'une centrale de deux turbines et d'un bief de restitution des eaux à l'Arnon. Le tronçon de l'Arnon situé entre le seuil et la restitution des eaux est court-circuité (TCC). Deux voies d'eau régulées par des vannes permettent de relier le bief et le TCC ; une des voies se trouve dans le bief d'amenée et l'autre se trouve directement à proximité de la centrale.

L'organisation spatiale des ouvrages au droit du site est présentée dans la photographie aérienne ci-dessous.



Figure 1 : Organisation spatiale au droit du site du moulin de la Roche.

Les ouvrages actuels au niveau du moulin de La Roche sont décrits dans le présent chapitre.

2.1. Reportage photographique

Afin de faciliter la compréhension de lecture et d'illustrer les propos qui seront tenus dans ce document, il est proposé au lecteur un reportage photographique mettant en lumière les éléments et ouvrages clés du site.

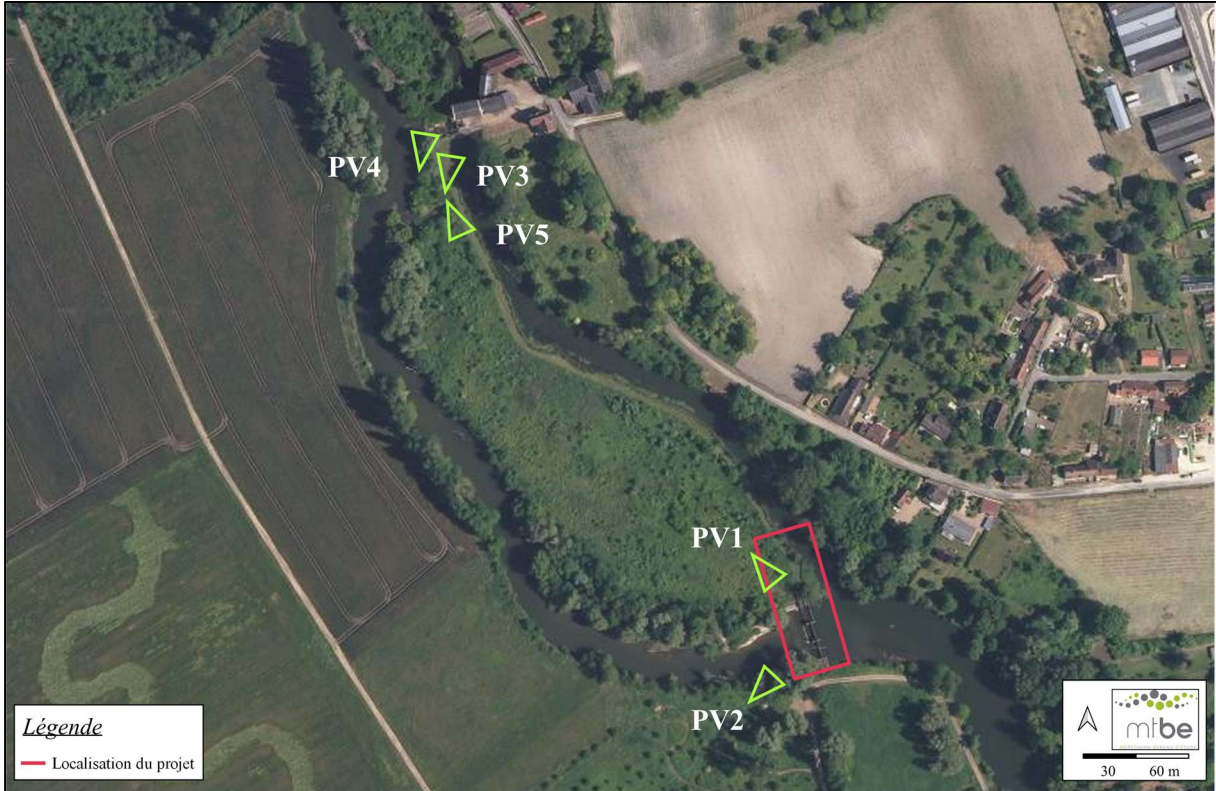


Figure 2 : Vue aérienne des prises de vue (PV) ci-dessous.



Figure 3 : PV1 - Vue vers le seuil et les trois vannes (source : MTBE, 2021).



Figure 4 : PV 2 - Vue vers le barrage et les trois vannes (source : Aubry & Associés, nd.).



Figure 5 : PV3 - Vue vers la centrale actuelle (source : Aubry & Associés, nd.).



Figure 6 : PV4 - Vue vers la vanne de décharge 1.



Figure 7 : PV5 - Vue vers la vanne de décharge 2.



Figure 8 : Turbine de type Kaplan installée dans le moulin de la Roche (source : MTBE, 2021).



Figure 9 : Turbine de type Fontaine installée dans le moulin de la Roche (source : Aubry & associés, nd).

2.2. Relevés bathymétrique et topographique

De manière à appréhender avec exactitude les dimensions et altimétries du site, un relevé topographique et bathymétrique a été opéré en 2015. Ce relevé visait :

- L'ensemble des ouvrages présents sur le site ;
- Plusieurs profils du cours d'eau choisi de manière à obtenir une bonne représentation du fond de rivière et les premiers mètres du lit majeurs. Les niveaux d'eau au jour du relevé ont été relevés au droit de chaque profil relevé.

Ces relevés sont présentés sous forme de plans. Ils sont disponibles en **annexe 2**.

2.3. Ouvrages

2.3.1. Bâtiment et canal d'amenée

La centrale hydroélectrique est installée dans le moulin de la Roche, située sur un bief de contournement de l'Arnon en rive droite. Le canal d'amenée est ainsi d'une longueur d'environ 350 m depuis le seuil jusqu'aux prises d'eau. Sa hauteur d'eau est d'environ 2 m à son entrée, pour 1,5 m à l'entrée des prises d'eau.

Le moulin est construit en pierres de pays. Les maçonneries sont d'époque.

2.3.2. Seuil

Le seuil permettant l'exploitation de l'énergie hydraulique est composé de trois clapets régulés automatiquement par flotteurs, selon le niveau d'eau amont. L'un de ces clapets, celui en rive droite, est défectueux et est fixé à la cote altimétrique de 106,84 m NGF.

Les clapets mesurent chacun 10 m de long pour 2,5 m de hauteur environ. Au total, le seuil a une longueur de 31 m. Ces clapets sont posés sur des radiers en excellent état.

2.3.3. Turbines et prises d'eau

La centrale hydroélectrique est actuellement équipée de deux turbines : une Kaplan et une Fontaine. Chaque turbine est couplée à une génératrice et l'ensemble développe une puissance totale de 185 kW. Leurs caractéristiques principales sont les suivantes :

- Débit d'équipement actuel : environ 8 m³/s ;
- Débit d'amorçage : 1,5 m³/s ;
- Puissance maximale brute autorisée : 279 kW ;
- Nombre de turbines : 2 ;
- Type de turbines : 1 Kaplan et 1 Fontaine.

Les caractéristiques principales des turbines sont reprises dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1 : Caractéristiques principales des unités de production du moulin de la Roche.

	Turbine Kaplan	Turbine Fontaine
Année d'installation	1985	1905
Localisation	Prise d'eau de gauche	Prise d'eau de droite
Puissance (kW)	110	75
Débit d'équipement (m³/s)	5	3
Prise d'eau	Plan de grille à entrefer d'une dizaine de cm	
Dégrilleur	A rateau	Manuel
Vannes de garde	Après le plan de grille	Absente

2.3.4. Sortie des chambres d'eau et bief de restitution

Les sorties des chambres d'eau aboutissent dans un canal de restitution qui rejoint l'Arnon quelques 200 m à l'aval.

2.3.5. Passe à poissons

Aucune voie de montaison pour la faune piscicole n'existe au droit du moulin de la Roche ou au niveau du seuil.

2.3.6. Vannage

Le site est équipé de trois groupes de passes vannées. Ces groupes sont :

- La vanne de décharge 1 : présente à la gauche du moulin, elle rejoint directement l'Arnon. Elle est composée de 4 petites vannes d'1,3 m de hauteur pour une longueur totale de 5,6 m environ ;
- La vanne de décharge 2 : présente au niveau du bief d'aménée, à environ 40 m de la centrale, elle rejoint également directement l'Arnon. Elle est composée d'une seule vanne d'environ 1,35 m de hauteur pour 2,3 m de longueur ;
- Les vannes de garde au niveau des prises d'eau des turbines.

2.3.7. Accès

L'accès au site se fait via la route de la Roche, qui offre un accès direct au moulin. Le seuil est ensuite accessible en remontant le long du bief d'améné.

3. Analyse hydrologique

L'analyse hydrologique permet de déterminer la disponibilité en eau. Celle-ci est illustrée selon plusieurs grandeurs et moyens de représentation :

- Module : débit moyen sur la plage de débits considérés ;
- Étiage quinquennale : débit mensuel minimum dont la probabilité d'apparition est d'une fois tous les cinq ans (QMNA5) ;
- Courbe de débits classés ;
- Percentiles : part de débits minimal sur une durée déterminée par rapport à une année complète.

Les résultats de cette analyse sont utilisés à plusieurs niveaux dans les études d'avant-projet :

- Dimensionnement et sélection du nombre et du type de turbines ;
- Détermination du débit qui sera réservé au fonctionnement écologique de la rivière ;
- Simulation du productible électrique ;
- Méthodologie de mise en œuvre du projet.

3.1. Station de mesure des débits

L'analyse hydrologique se base sur des données de débits mesurées sur le cours d'eau. Ces mesures sont issues de la station de l'Arnon à Méreau (code : K619 2420 01).

Les caractéristiques de la station sont reprises dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2 : Caractéristiques de la station de mesure des débits (station : l'Arnon à Méreau).

Code station	K6192420
Commune	Méreau
Cours d'eau	L'Arnon
Superficie de bassin versant	2164 km ²
Date de mise en service	01/09/1996
Qualité globale des mesures en basses eaux	Bonne
Qualité globale des mesures en moyennes eaux	Bonne
Qualité globale des mesures en hautes eaux	Bonne

Les données disponibles sont renseignées dans la page de la station. Une appréciation de la qualité des données est également fournie.

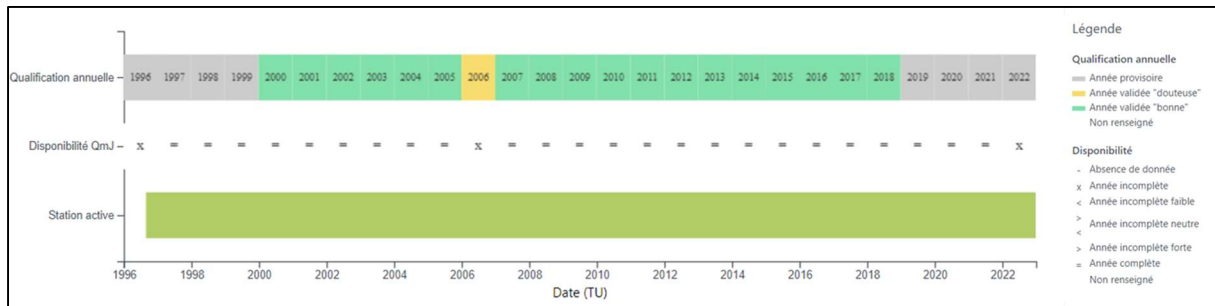


Figure 10 : Qualité et disponibilité des données hydrologiques au niveau de la station Arnon à Méreau (source : hydro.eaufrance.fr).

Sur base des données disponibles, la plage des débits à analyser a été sélectionnée.

3.2. Plage de débits pris en considération

La sélection de la plage de débit est un enjeu majeur pour la réalisation de l'avant-projet. En effet, les projections faites pour le futur au travers de l'avant-projet se basent sur des données mesurées dans le passé. La sélection doit donc permettre une bonne représentativité des conditions du milieu. La période de changement climatique doit également être prise en compte dans la sélection. Dès lors, la plage de débit ne doit pas être trop longue mais suffisamment pour que tous les types d'hydrologie soient pris en considération (années sèches, années humides, répartition variable, etc.).

Du point de vue législatif, l'article L214-18 du code de l'environnement contraint de prendre en considération au moins 5 années consécutives pour la détermination du débit réservé.

Dans ce contexte, la sélection des données de débits porte sur une plage allant de 2003 à 2021, soit une durée de 18 années.

Ces données considèrent les prélèvements pour l'agriculture et sont proches de la situation actuelle, afin de considérer l'impact du changement climatique sur le régime hydrologique de l'Arnon.

3.3. Rapport de superficie de bassin versant et particularités du site

La situation hydrologique locale du site projeté est particulière en raison de la création d'un réseau de drainage complexe dérivant une partie des eaux de l'Arnon en plusieurs endroits et retournant vers l'Arnon en d'autres endroits. Afin de prendre en compte au mieux l'incidence de ce réseau hydrographique dans l'analyse hydrologique du présent projet et ainsi, définir au mieux les débits disponibles pour la centrale hydroélectrique et l'ouvrage de franchissement piscicole, une méthodologie particulière a été réalisée et est décrite ci-dessous.

3.3.1. Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique de l'Arnon a été l'objet de nombreux remaniements dans le passé. Aujourd'hui, une partie de son débit est dérivé au niveau du hameau de Fussay en direction du village de Chéry. Cette dérivation est appelée la Rivière Neuve et un seuil sous forme de clapet

permet son irrigation. La gestion de ce clapet est qualitative en l'état. Ce point est abordé par après (**paragraphe 3.3.3**).

Ensuite, une partie de ce débit dérivé est rendu à l'Arnon à l'amont du site du projet tandis que le reste retourne à l'Arnon juste avant la ville de Méreau et la station de mesure. Entre les deux, plusieurs échanges minimes (prélèvements et rejets suivant la période et le chenal considéré) entre la Rivière Neuve et l'Arnon existent. Ces quelques prélèvements-rejets sont faibles ($< 1 \text{ m}^3/\text{s}$ en général), ponctuels et seront négligés par la suite.

Le réseau hydrographique du projet est repris sur l'image ci-dessous. La largeur des traits des cours d'eau n'est pas proportionnelle à leur importance réelle. Le tronçon principal de l'Arnon sur lequel s'implantera la centrale est en réalité bien plus important en termes de débits que les dérivations observées en rive gauche (Rivière Neuve et système de drainage des zones de culture).

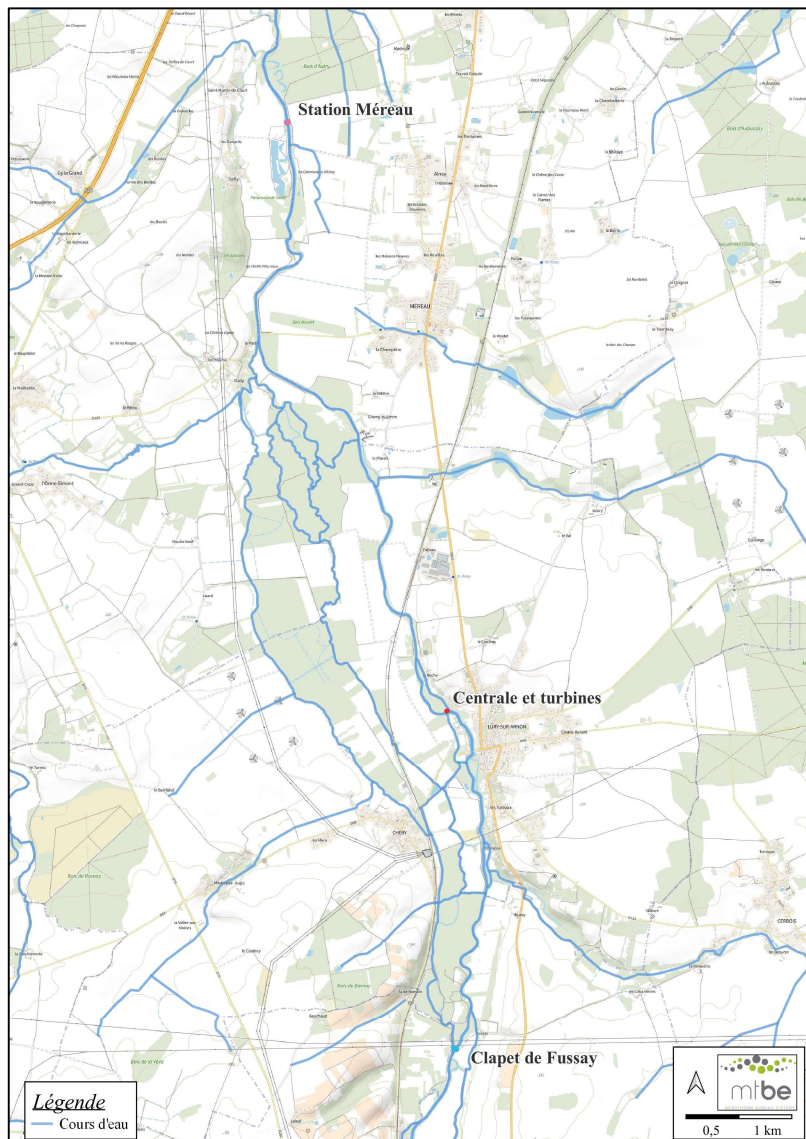


Figure 11 : Réseau hydrographique au droit du projet.

3.3.2. Rapports de bassins versants

Les données de débits disponibles sont inhérentes au droit de la station de mesure. Pour adapter les données au site étudié, un coefficient de superficie de bassin versant est appliqué à chaque mesure. Ce coefficient est le rapport entre les superficies des bassins versants du cours d'eau concerné, au droit de la station de mesure et au droit du projet.

Dans le présent cas et afin de prendre en compte la dérivation vers la Rivière Neuve, plusieurs rapports de bassins versants sont utilisés.

La superficie du bassin versant à la station de mesure est renseignée dans la fiche de la station. La superficie du bassin versant au droit du projet est calculée au moyen d'un logiciel SIG (ArcGis, QGis, etc.). La superficie du bassin versant au niveau du clapet de Fussay est issue de l'étude d'Arcadis (**annexe 8**).

La superficie au droit du projet est de 2 063 km², la superficie au droit de la station de mesure est de 2 164 km² tandis qu'au niveau du clapet de Fussay, la superficie du bassin versant est de 2010 km². Les coefficients à appliquer à chaque mesure de débit sont repris dans le tableau suivant.

Tableau 3 : Caractéristiques de la station de mesure des débits (station : l'Arnon à Méreau).

Lieu	Superficie bassin versant (km ²)	Rapport de bassin versant	Rapport de bassin versant
Méreau	2163	1	1,076
Lury-sur-Arnon (projet)	2063	0,953	1,026
Fussay	2010	0,929	1

3.3.3. Rivière Neuve

Afin d'évaluer quantitativement la part du débit de l'Arnon qui est alloué à la Rivière Neuve, l'étude d'Arcadis a été utilisée. L'étude est disponible en **annexe 8**. Cette étude renseigne une répartition des débits entre l'Arnon et la Rivière Neuve en situation projetée pour laquelle un ouvrage de circulation piscicole est installé sur ce clapet. Cette situation n'est pas encore rencontrée actuellement mais un régime transitoire sera mis en place par le porteur du présent projet de centrale hydroélectrique afin de respecter au mieux la répartition des débits telle que recommandée par Arcadis. Ce régime transitoire sera mis en place en accord avec les autorités locales (commune de Chéry, SMAVAA, DDT) et fera l'objet d'une phase de test afin de valider l'ensemble des recommandations.

A partir des informations fournies par Arcadis, une régression a été réalisée, permettant de définir, pour chaque débit, la part allouée à la Rivière Neuve.

Tableau 4 : Allocation des débits entre la Rivière Neuve et l'Arnon au droit du clapet de Fussay selon le BE Arcadis (2021, disponible en annexe 8).

Lieu	Débit	Part allouée à la Rivière Neuve
DMB	1,05	3%
Module	11,42	6%
2x Module	22,93	11%

La formule permettant de définir la part allouée à la Rivière Neuve pour chaque débit est :

$$\%_{Rivière\ Neuve} = 0,0041 * Q_{Amont\ clapet\ Fussay} + 0,0224$$

Pour les plus hauts débits, supérieurs à 3x le module (soit 30,4 m³/s à l'amont immédiat du clapet de Fussay), l'allocation d'eau jugée stabilisée, avec maximum 4,47 m³/s qui est dérivé vers la rivière Neuve. Cette hypothèse se justifie par la capacité d'écoulement de la Rivière Neuve qui reste faible par rapport à l'Arnon et par la présence de plusieurs vannes de régulation présentes sur son tronçon qui jouent le rôle de sections critiques.

3.3.4. Méthodologie finale

En considérant les éléments précédents, une méthodologie stricte et systématique a été appliquée à chaque mesure de débit de la station de Méreau. Cette méthodologie peut être schématisée comme ci-dessous.

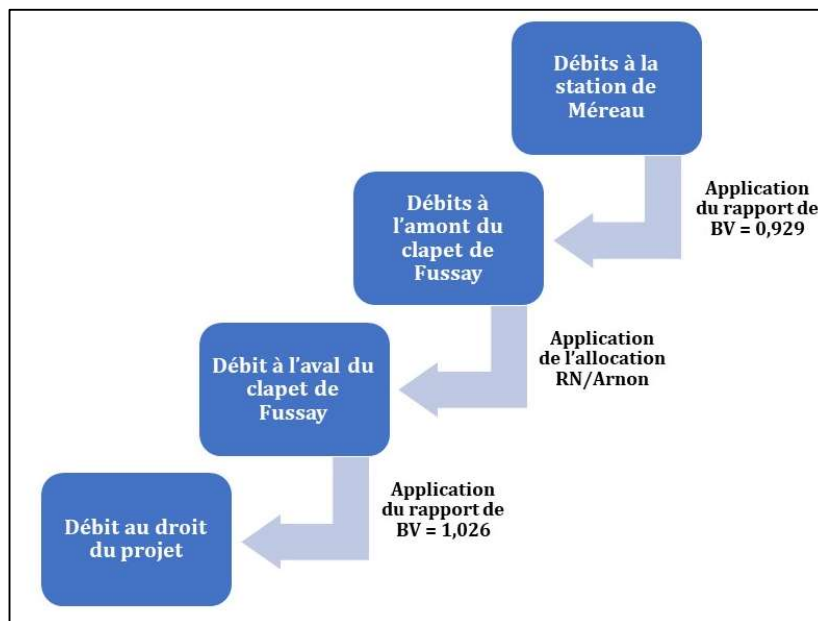


Figure 12 : Méthodologie générale appliquée pour l'analyse hydrologique du site projeté.

Cette méthodologie permet de prendre en compte les dérivations de l'Arnon et, d'ainsi, d'appliquer un coefficient de sécurité sur la production électrique attendue du projet.

3.4. Analyse des données

3.4.1. Evolution des débits

Le tableau ci-dessous reprend les résultats principaux de l'analyse hydrologique au droit du projet. Les données caractéristiques sont reprises pour trois années, l'année sèche, moyenne et humide. Les années humide et sèche sont déterminées sur base de la valeur de leur module et de leurs extrêmes.

Tableau 5 : Débits minimums, maximums et moyens (en m³/s) sur l'Arnon au droit du projet (source données : Hydro.eaufrance.fr).

	Année moyenne	2009	2010	2011	2012	2013 Année pluvieuse	2014	2015	2016	2017	2018	2019 Année sèche	2020	2021
Min	2,2	1,2	0,0	0,0	0,0	2,3	2,5	1,1	1,4	1,2	1,1	2,3	2,9	1,9
Max	28,6	134,9	120,9	83,1	133,9	139,5	93,1	55,9	57,7	42,2	47,9	107,9	43,7	73,8
Moy.	9,3	10,8	12,9	6,9	9,5	11,2	11,4	5,5	8,1	5,2	7,8	15,3	11,5	9,2

Le module au droit du seuil du moulin de La Roche calculé sur les années 2003-2021 est de 9,3 m³/s, ce qui est plus faible que le module historique (calculé sur l'ensemble des données disponibles dans la banque de données hydro eau France). Cette diminution du module est à mettre notamment en lien avec le changement climatique.

Ces débits se répartissent annuellement comme sur le graphique ci-dessous, reprenant l'évolution des débits au cours d'une année sèche, pluvieuse ou moyenne. Le graphique ci-dessous permet ainsi d'apprécier la variation intra-annuelle saisonnière des débits observés sur l'Arnon.

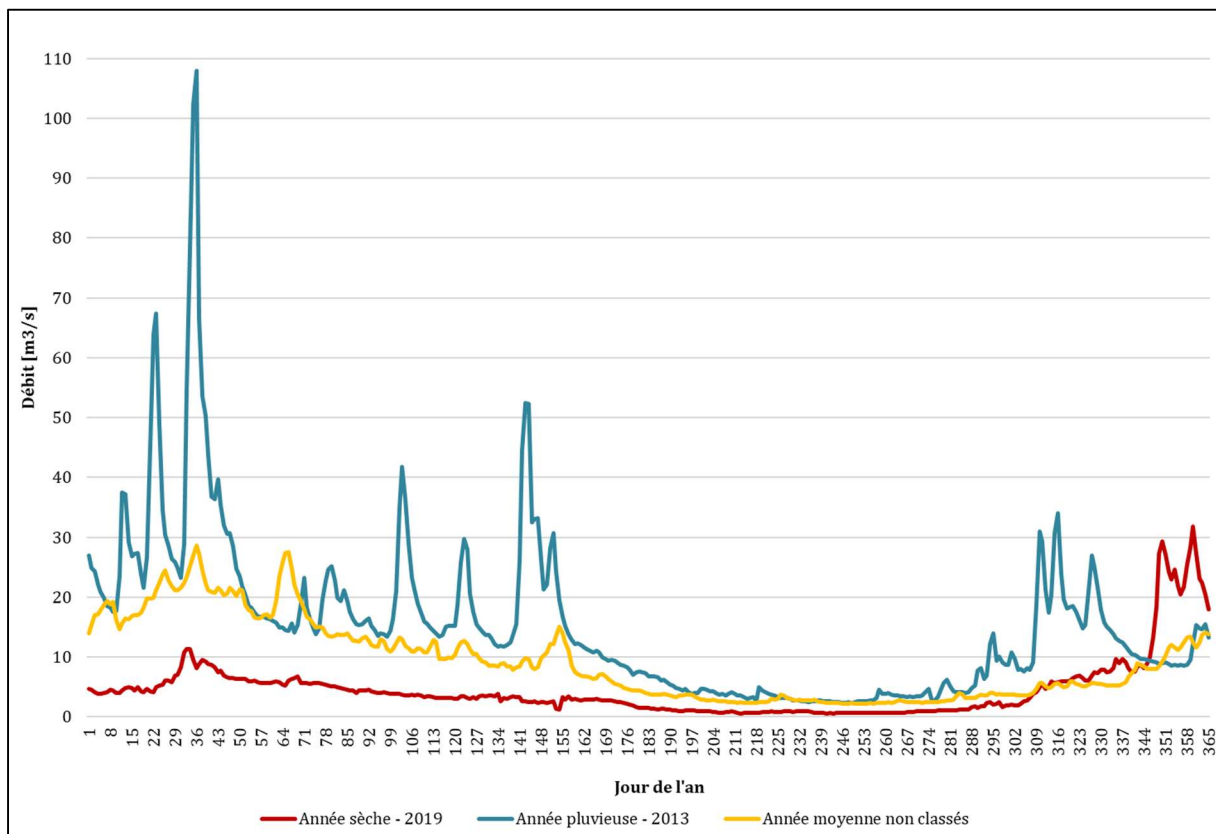


Figure 13 : Evolution annuelle des débits, pour une année sèche, pluvieuse et en moyenne (source données : Hydro.eaufrance.fr).

Le graphique ci-dessous reprend les débits pour les trois années caractéristiques mais de manière classée, permettant de rendre compte de la variation interannuelle de la disponibilité en eau.

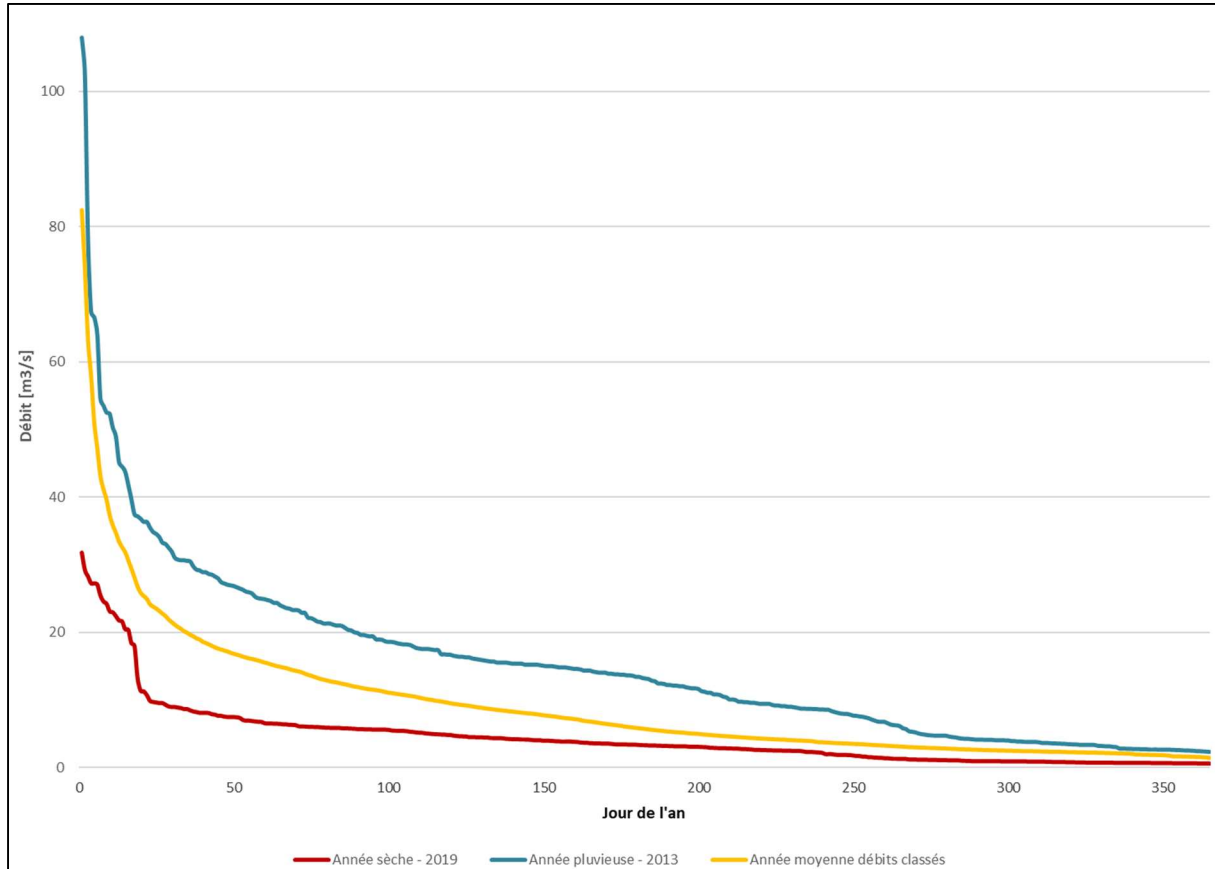


Figure 14 : Débits classés annuels, pour une année sèche, pluvieuse et moyenne (source données : Hydro.eaufrance.fr).

3.4.2. Statistiques des données

Le tableau suivant présente les débits à l'étiage sur base de la fiche de synthèse de la station de l'Arnon à Méreau. Ces débits sont caractéristiques des conditions hydrologiques basses du cours d'eau. Le QMNA (Débit Mensuel Minimal Naturel) représente les débits mensuels minimaux naturels sur la période considérée. Le QMNA quinquennal est généralement la valeur de référence administrative utilisée pour définir la valeur d'étiage.

Tableau 6 : QMNA au niveau de la station de mesure à Méreau et au droit du projet (données sur la période 11/1996 au 04/2022, source : Hydro.eaufrance.fr).

Périodicité	QMNA (m ³ /s) Méreau	QMNA (m ³ /s) Projet
Biennale	2,53	2,33
Quinquennale	1,76	1,65

Directement en lien avec cette courbe, le tableau des percentiles présentés ci-dessous renseigne la fréquence d'apparition d'un débit minimal donné, c'est-à-dire le pourcentage de temps que ce débit est atteint ou dépassé sur l'année moyenne de la période d'étude (2003-2021).

Tableau 7 : Fréquence d'observation des débits moyens sur l'Arnon au droit du projet (source données : Hydro.eaufrance.fr).

Percentile	Débit [m ³ /s]
1%	63,2
5%	28,1
10%	19,6
20%	13,8
30%	10,4
40%	7,9
50%	5,7
60%	4,3
70%	3,3
80%	2,6
90%	2,2
95%	1,8
99%	1,5

4. Situation projetée et objectifs visés

La situation projetée englobe l'ensemble des éléments et ouvrages nécessaires à la bonne réalisation des objectifs du projet. Cette situation est décrite dans le présent chapitre. Les principaux éléments sont :

- Installation de deux vis d'Archimède au droit du seuil du moulin, pour un débit unitaire de $6 \text{ m}^3/\text{s}$;
- Installation d'une passe à poissons en rive droite au droit du seuil du moulin ;
- Remplacement des deux vannes au centre et en rive gauche.

Pour rappel, les objectifs du présent projet sont au nombre de deux et sont 1) d'améliorer la productivité de la centrale et de 2) de restaurer la continuité écologique au droit du seuil du moulin de la Roche.

Le travail d'avant-projet consiste à proposer une solution qui soit le plus en adéquation avec le milieu. Les motivations développées ci-après justifient les choix en termes d'équipement.

4.1. Turbines

Au terme des études d'avant-projet, la solution la plus pertinente a été déterminée. Les caractéristiques des différentes turbines projetées sont reprises dans le tableau ci-dessous.

Tableau 8 : Caractéristiques techniques des turbines projetées (sources : constructeurs).

	Turbines
Type	Vis d'Archimède
Débit max par turbine (m^3/s)	6,0
Débit d'équipement par turbine (m^3/s)	6,0
Débit d'entonnement (m^3/s)	0,6
Hauteur de chute brute au débit d'équipement + PAP et débit sanitaire bief actuel (m)	3,21
Hauteur de chute nette au débit d'équipement, incluant 25 cm de pertes de charge (m)	2,96
Type de génératrice	Asynchrone
Puissance maximale brute (kW)	378 kW
Puissance maximale brute précédente autorisation (kW)	278 kW
Rendement au débit d'équipement (%)	74%
Ichtyocompatibilité	Turbines ichtyocompatibles
Moyens de régulation	Vannes clapet et vanne guillotine à l'amont de la centrale

La puissance maximale brute du projet est donc de 378 kW.

Le choix de l'équipement est lié aux paramètres du site, parmi ceux-ci, on retrouve :

- Débit disponible et valeur du débit attribuée aux fonctions écologiques de la rivière et à la continuité écologique ;
- La chute disponible et l'évolution des niveaux d'eau en fonction des variations de débits ;

- La biodiversité spécifique présente au droit du projet ;
- Les enjeux paysagers et urbanistiques ;
- Le contexte et les risques de crues ;
- La disponibilité foncière.

Le choix de l'équipement de production est motivé selon ces paramètres.

4.2. Vantellerie

Afin d'augmenter la maîtrise sur les flux d'eau des vannes sont prévues, les fonctions de ces vannes sont multiples :

- Maitriser l'accès de l'eau aux turbines ;
- Limiter l'encombrement des voies d'accès de l'eau aux turbines ;
- Accroître le champ d'action de la centrale sur l'élévation du niveau d'eau amont ;
- Conserver l'attractivité de la passe à poissons malgré les remontées de niveau d'eau aval.

Les vannes projetées sont reprises sur les plans en **annexe 2**.

4.2.1. Vannes de garde

Les vannes de garde sont prévues à la prise d'eau des turbines. Elles sont utilisées lorsque :

- Les turbines ne fonctionnent pas pour leur mise en sécurité ;
- Lorsque la régulation du niveau d'eau amont est prévue par ce moyen ;
- Lors des arrêts d'urgence en réponse à un dysfonctionnement sur la centrale.

Les caractéristiques des vannes de garde sont reprises dans le tableau ci-dessous.

Tableau 9 : Caractéristiques des vannes de garde.

Type de vanne	Vanne guillotine
Moyen d'actionnement	Vérin hydraulique
Section de vanne utile à la cote min de régulation (m²)	~ 14
Largeur prise d'eau (m²)	~ 4,0
Cote d'arase (m NGF)	107,83
Cote de radier (m NGF)	104,35

4.2.2. Vannes du seuil

Le seuil actuel est formé de trois vannes clapets (voir point 2.3.2) dont celle en rive droite sera remplacée par la centrale hydroélectrique. Les deux vannes en rive gauche seront également remplacées en raison de leur état altéré. Elles seront remplacées par des vannes de 10 m de long pouvant être mobilisées par vérin hydraulique. Leur cote sera portée à 106,85 m NGF.

Une vanne de décharge sera également installée entre les deux turbines de la centrale. Celle-ci sera à double feuillets afin de permettre le passage des embâcles les plus importantes. Une drôme sera installée de manière à dévier les embâcles en sa direction.

4.3. Plan de grille et prise d'eau

Les turbines projetées sont considérées comme ichtyocompatibles, c'est-à-dire qu'elles ne présentent pas de risque pour l'intégrité physique des poissons qui seraient amenés à passer dans celles-ci. Dès lors, il n'est plus nécessaire d'entraver l'accès aux turbines pour les poissons.

Les prises d'eau ne doivent donc pas nécessairement être ichtyocompatibles mais doivent toutefois protéger les turbines des différents embâcles drainés par le cours d'eau. En ce sens, les grilles de prise d'eau seront orientées par rapport à la verticale d'un angle de 45° en direction de la vanne de décharge installée entre les deux turbines. Cette implantation permettra d'orienter les embâcles en direction de la vanne de décharge.

Tableau 10 : Caractéristiques des plans de grilles.

Longueur (m)	~5,0
Hauteur (m)	~3,5
Cote radier (m NGF)	104,35
Cote arase (m NGF, 3MIA)	107,83
Inclinaison par rapport à l'horizontal (°)	0°
Inclinaison par rapport à la verticale (°)	45°
Largeur entrefer (mm)	150

4.4. Dégrileur

L'efficacité du plan de grille est liée à sa propreté et à l'absence d'encombrement. Dans le cas du présent projet, l'entrefer des grilles est de 15 cm et est donc suffisant pour éviter une occlusion trop importante du plan de grille. Aucun dégrilleur n'est donc prévu et le nettoyage se fera manuellement.

4.5. Éléments électromécaniques

Un automate intégrera l'ensemble des composantes électroniquement commandables, y compris le vannage et les freins des turbines. Il permettra également l'envoi de l'électricité produite dans le réseau de distribution. Ses rôles seront également de :

- Contrôler et commander l'ensemble des organes de la centrale pour son bon fonctionnement sur place ou de manière délocalisée ;
- Protéger les machines, les auxiliaires et les personnes en cas de dysfonctionnement panne ou accident ;
- Rompre la connexion avec le réseau lorsque celui-ci ne respecte plus les normes établies par son gestionnaire ;
- Comptabiliser la quantité d'énergie produite.

Dans le cadre de cette autorisation, les différents organes ne sont pas détaillés. Toutefois, les fiches techniques peuvent être transmises sur demande.

4.5.1. Sondes de niveaux

Pour les besoins d'exploitation de la centrale projetée, des sondes seront installées à l'amont et à l'aval de la centrale, ainsi qu'à l'arrière des plans de grilles afin de mesurer les pertes de charges.

Les sondes de niveaux d'eau seront supportées au moyen de structures métalliques. Ces supports permettent le maintien des sondes en position verticale malgré les variations de niveaux d'eau et les contraintes environnementales (pression hydrostatique, chocs liés à des embâcles, etc.).

4.6. Ferronnerie

En outre des éléments traités ci-dessus, certains éléments structurels sont prévus en métal. Ce choix est lié aux propriétés de cette matière, résistant fortement à l'eau et à l'humidité. Les éléments en acier prévus sont

- Des caillebotis ;
- Les supports de sonde de niveau (voir point précédent).

4.6.1. Caillebotis

Les caillebotis sont prévus pour permettre à l'homme de circuler au-dessus de l'eau. Ils présentent l'avantage d'être facilement démontables et sont donc généralement utilisés à des endroits où des interventions ponctuelles d'entretien sont nécessaires. Dans le cadre du présent projet, ils seront installés :

- Au-dessus de la passe à poissons afin de permettre l'accès à la centrale ;
- Autour de la centrale où le passage est nécessaire pour la bonne exploitation.

Des garde-corps pourraient être aménagés autour de ces caillebotis pour la sécurité.

4.7. Ouvrages de génie civil

En outre des éléments techniques, le projet prévoit l'implantation d'ouvrages de génie civil. Le rôle de ces ouvrages est multiple :

- Établir la structure du projet ;
- Accueillir et maintenir les éléments électromécaniques ;
- Diriger les flux d'eau pour la production et la continuité écologique ;
- Établir des voies de passages piscicoles de part et d'autre du seuil ;
- Assurer la stabilité du site et des ouvrages.

Les ouvrages de génie civil se distinguent selon plusieurs types :

- Les radiers ;
- Les voiles ;
- Les dalles ;
- Les cloisons ;

- Les scellements.

Les ouvrages prévus pour le projet sont illustrés dans les plans en **annexe 2**. La stabilité de chacun ces ouvrages sera assurée conformément aux normes définies au travers de l'Eurocode.

Les ouvrages de franchissement permettent de rétablir et/ou de conserver la libre circulation piscicole. Étant l'un des deux piliers de la continuité écologique, ces ouvrages font l'objets d'une attention particulière.

Dès lors, ce volet est un chapitre à part entière du présent mémoire technique et le lecteur peut retrouver le dimensionnement des ouvrages de franchissement et leur justificatif au chapitre 6 : continuité écologique.

5. Étude hydraulique

L'étude hydraulique est menée de manière à modéliser l'évolution des niveaux d'eau en fonction des différents débits. Les résultats de cette étude sont utilisés à plusieurs niveaux de l'avant-projet :

- Détermination de la puissance brute maximale ;
- Simulation des productibles ;
- Calage des ouvrages de production électrique ;
- Calage des ouvrages de franchissement ;
- Détermination du régime de gestion de la centrale ;
- Dimensionnement de la vantellerie ;
- Intégration des enjeux et usages liés au cours d'eau.

5.1. Données de base

L'étude hydraulique est basée sur des données relevées sur le terrain. Ces données concernent la bathymétrie du lit mineur et des ouvrages existants, et des mesures de niveaux d'eau à différents débits représentatifs de diverses situations hydrologiques.

La bathymétrie permet de réaliser un modèle de la situation existante. La campagne de mesures permet de caractériser les surfaces par rapport à leur capacité d'écoulement et de ce fait, de déterminer les coefficients d'écoulement.

5.1.1. Données topographiques et bathymétriques

Les données bathymétriques ont été relevées par le bureau de Géomètres Topographes SAS TOPDESS en date du 14 décembre 2015. Les résultats sur plan de ces relevés sont disponibles en **annexe 2**.

5.1.2. Campagne de mesure des niveaux d'eau

La campagne de mesure des niveaux d'eau est réalisée en vue d'obtenir une représentation de l'évolution des niveaux aux endroits clés du projet sur une plage de débit allant de l'étiage aux hautes eaux. Les mesures de niveaux doivent être accompagnées d'une description hydrologique de la situation au moment de chaque mesure. Les résultats de la campagne sont repris dans le tableau ci-dessous.

Tableau 11 : Campagne de mesure des niveaux d'eau au droit du site.

Date	Débit (m ³ /s)	Cote amont (m GNF)	Cote aval (m GNF)	Hauteur chute (m)
31-12-21	43,37	107,08	104,59	2,49
24-02-22	8,03	106,87	103,45	3,42
11-03-22	5,87		103,37	
15-04-22	5,61	106,89	103,41	3,48
21-09-15	1,80	106,78	103,22	3,56
11-05-22	2,84	106,81	103,25	3,56

Ces mesures de niveaux d'eau ont été prises avec les turbines de la centrale existante à l'arrêt, après un temps d'attente (variant de 3 à 5 h) afin de permettre à l'Arnon de s'équilibrer entre l'amont et l'aval de la centrale. Ainsi, l'ensemble des eaux de l'Arnon transitaient par le seuil lors de la mesure des niveaux d'eau, à l'exception des hautes eaux, où une partie transitait par les vannes de décharge du bief de la centrale existante.

5.2. Méthodologie

Les relevés réalisés *in situ* permettent la construction du modèle géométrique et hydraulique dans le logiciel HECRAS (version 4.1.0). La modélisation hydraulique est un outil incontournable dans la gestion de l'eau et le développement efficient des usages qui y sont liés. Elle permet, dans le cadre du projet, de déterminer les niveaux d'eau atteints pour différentes gammes de débits. En situation projetée, elle permet de définir l'impact de nouveaux ouvrages fixes ou mobiles ou de la modification du profil du cours d'eau.

Plus spécifiquement, elle permet, entre autres :

- de déterminer des hauteurs d'eau suivant différentes configurations du système étudié et à différents régimes de débits ;
- de dimensionner des ouvrages spécifiques, et d'optimiser le calage altimétrique de ceux-ci.

Le système intégré de calculs utilisé dans ce cadre par la cellule hydraulique de MTBE est le logiciel HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Centers River Analysis System*), développé par l'*US Army Corps of Engineers*. Les aptitudes de ce logiciel, toujours couplées à l'expertise de l'ingénieur, sont reconnues au niveau international. Il est en outre employé par de nombreux bureaux d'études et Administrations chargés d'études hydrauliques.

Il a été développé et testé pour réaliser des modèles de calculs hydrauliques en 1D pour un réseau hydrologique naturel ou artificiel complet. Dans le cas d'un cours d'eau, celui-ci est modélisé par la succession de profils 2D en travers du cours d'eau et des ouvrages qui le traversent. Les profils sont judicieusement choisis afin de représenter au mieux la complexité du site sur la portion étudiée.

A travers une interface graphique, le logiciel HEC-RAS développe une analyse détaillée des composantes du système et offre une gestion, un stockage et un traitement efficace des données ainsi qu'une présentation des résultats à travers des graphiques et des tableaux synthétiques.

Le modèle mathématique est basé sur la résolution des équations de continuité et de conservation de la quantité de mouvement en une dimension. Il repose sur la technique éprouvée des

différences finies en utilisant des schémas numériques capables de résoudre les équations en eaux peu profondes de Saint Venant.

Les pertes de charge sont modélisées par les lois de frottement (de fond et latéral) de Manning-Strickler d'une part et de compression/expansion d'autre part. Des coefficients de débits sont également utilisés sur base de notre expertise et des valeurs régulièrement admises dans la littérature.

Une fois le modèle géométrique et les différents paramètres intégrés, un calibrage est effectué, ce qui permet d'affiner ces paramètres au moyen des mesures prises in situ pour les débits caractéristiques.

Une fois le modèle géométrique construit, les simulations d'écoulement en régime stationnaire sont réalisées.

Toute l'expertise du modélisateur se borne à la minimalisation des incertitudes liées aux données de construction des modèles (la topographie et la bathymétrie), au choix judicieux des hypothèses de la modélisation et des hypothèses de calibration (coefficients de frottement, apports intermédiaires, paramètres hydrauliques) et à l'exploitation opérationnelle des modèles hydrauliques (conditions initiales, conditions limites amont et aval, etc.).

La présente étude hydraulique reste donc une étude indicative qui permet, suivant les différents paramètres et hypothèses implémentés, une visualisation approchée de la réalité.

5.2.1. Débits étudiés

La simulation des niveaux d'eau sera opérée :

- Au débit attribué à la continuité écologique (PAP + bief centrale existante) ;
- A l'étiage ;
- A un débit intermédiaire ;
- Au module ;
- Au débit d'équipement + réservé ;
- A deux fois le module ;
- A trois fois le module.

Ces simulations permettront de proposer les régimes de gestion de ouvrages de manière à intégrer les enjeux et usages liés à l'Arnon.

Les valeurs des débits au droit du projet sont calculées selon la méthodologie présentée au chapitre 3.

5.2.2. Démarche proposée

Les principales étapes de la modélisation sont :

1. Établissement d'une courbe d'évolution des niveaux d'eau de la situation existante en amont et en aval des déversoirs sur base de mesures in situ (sources : gardien de la centrale, géomètre, propriétaire de la centrale) ;

2. Calibrage de la situation actuelle pour les débits étudiés ;
3. Simulation de l'évolution de ces niveaux dans la situation projetée pour chaque débit en tenant compte de la gestion de l'ensemble des ouvrages présents dans la situation projetée ;
4. Propositions d'un régime de régulation des niveaux d'eau en adéquation avec les enjeux et usages liés à l'Arnon sur le tronçon concerné.

5.3. Hypothèses de simulation

5.3.1. Considérations générales

Les considérations générales de l'étude, reprises ci-dessous, font état de la consistance du projet. Il s'agit de l'installation d'un nouveau groupe de production hydroélectrique et d'ouvrages de continuité écologique.

Les caractéristiques du groupe de production sont reprises dans le tableau inséré ci-dessous.

Tableau 12. Caractéristiques du groupe de production hydroélectrique.

Type de turbines	Vis d'Archimède
Nombre de turbines	2
Débit unitaire	6 m ³ /s
Débit total	12 m ³ /s

L'allocation des débits est reprise ci-dessous.

Tableau 13. Allocation des débits en situation projetée.

Débit caractéristique	Débit Arnon	PAP ¹	Canal amené (débit sanitaire)	Débit turbiné	Surverse
	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
PAP + débit brief centrale existante	0,60	0,40	0,10	0,00	0,00
Etiage	1,46	0,40	0,10	0,96	0,00
Intermédiaire (une vis qui turbine)	6,50	0,40	0,10	6,00	0,00
Module	9,27	0,40	0,10	8,77	0,00
Équipement + réservé	12,50	0,40	0,10	12,00	0,00
2MIA	18,54	0,40	0,10	12,00	5,94
3MIA	27,81	0,40	0,10	12,00	15,21

Le droit d'eau du moulin de la Roche ne spécifie pas de niveau de régulation amont. Dans le cadre du présent projet, un niveau de régulation à 106,85 m NGF est proposé, correspondant au mieux aux résultats de la campagne de mesures d'eau et de la cote maximale des clapets du seuil.

¹ PAP = Passe à poissons. Le débit de la passe à poissons est fixé à 500 l/s. Il évolue en fonction de l'évolution des niveaux d'eau au droit de son entrée et de sa sortie (voir chapitre 6) mais il est considéré constant dans la présente modélisation par simplification. Cette approximation reste acceptable au vu des débits en compétition.

5.3.2. Modélisation de la situation existante

La modélisation de la situation existante considère :

- Les vannes au droit du seuil comme dans leur état actuel ;
- Un tronçon de rivière vers l'amont depuis le vannage de 135 m ;
- L'ancien canal d'amenée vers le moulin actuel de La Roche jusqu'à la confluence aval de 625 m ;
- Un tronçon en aval de confluence de 75 m ;
- Le tronçon court-circuité ;
- Le dispositif de vannage sous le moulin et dans son bief ;
- Le cours d'eau reste dans son état actuel.

Les différents profils repris pour la modélisation sont schématisés sur la vue en plan du site ci-dessous.

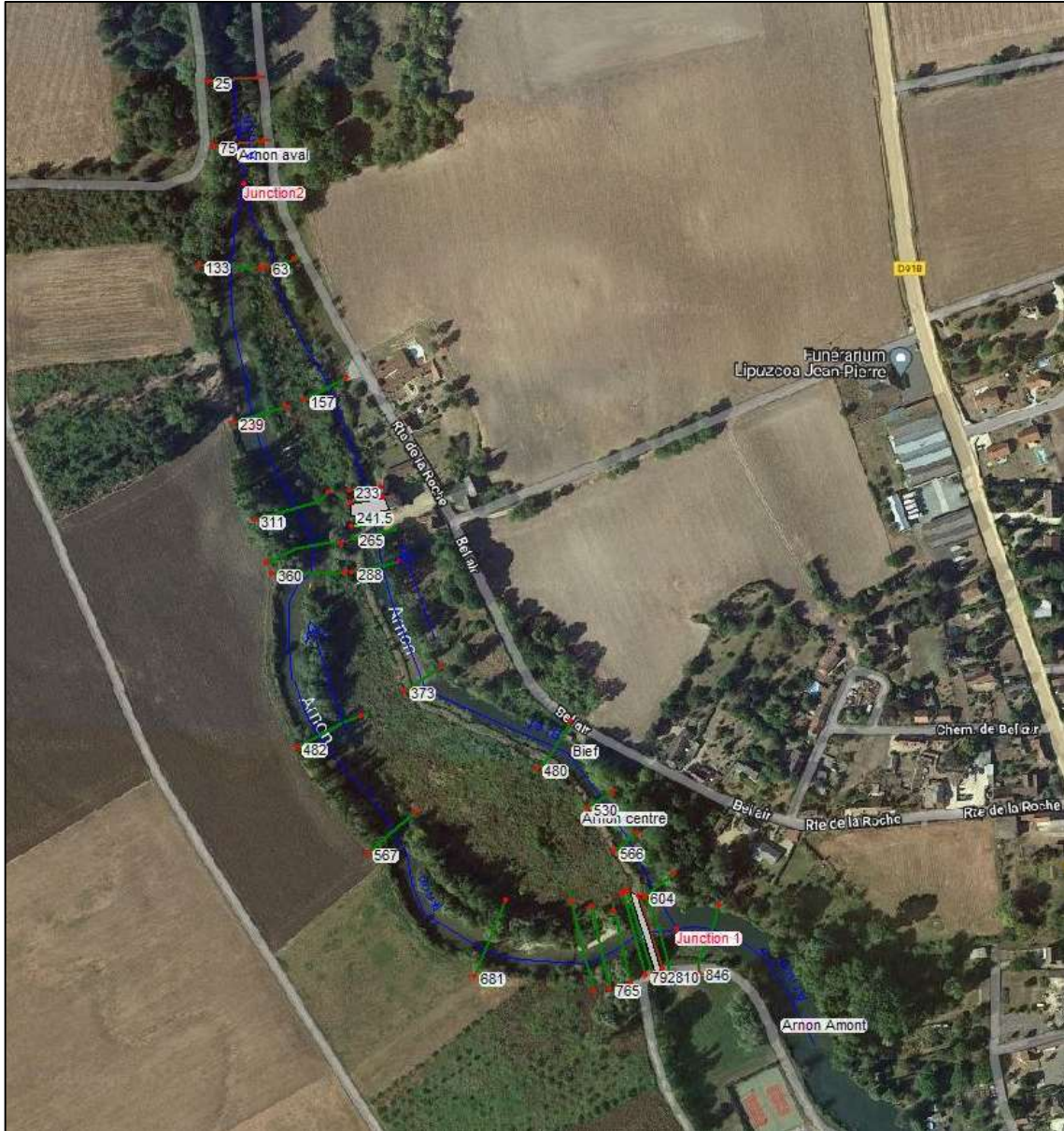


Figure 15 : Schématisation du modèle hydraulique utilisé.

Le profil en long de la section concernée de l'Arnon est présenté à la figure suivante.

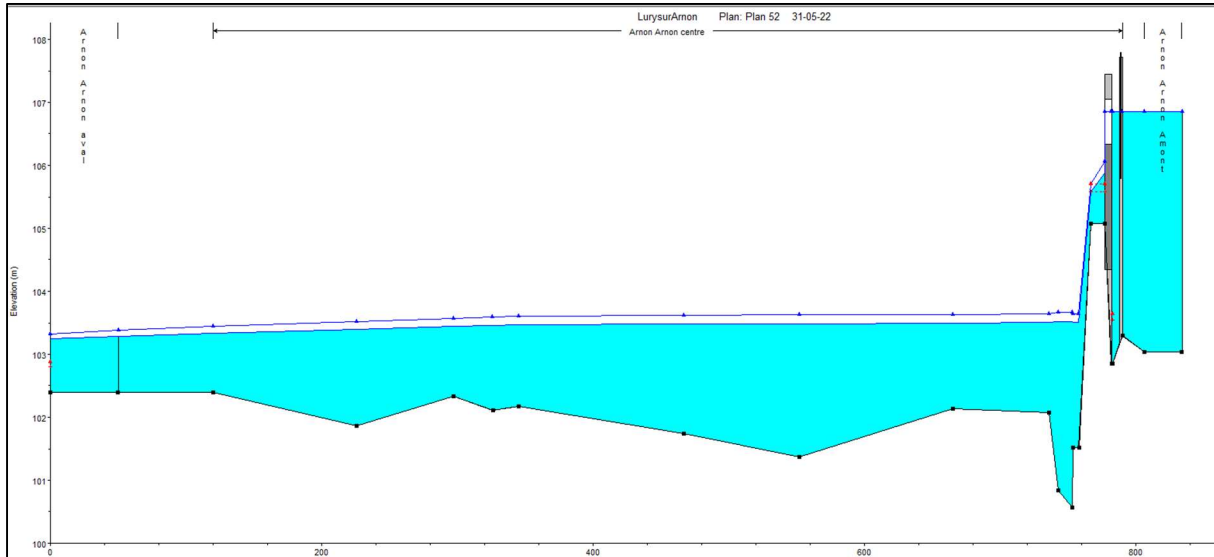


Figure 16. Profil en long du segment concerné de l'Arnon.

Les hypothèses considérées dans le modèle hydraulique sont :

- Les pertes d'eau au niveau des vannes de décharge du bief d'amenée ont été négligées. Elles ont donc été considérées comme fermées dans le modèle ;
- L'ensemble de la modélisation a été réalisé en 1D-quasi 2D ;
- Les cotes de crête des vannes au droit du seuil sont celles reprises dans les relevés du géomètre, soit 106,73 m NGF pour les vannes du milieu et en rive gauche et 106,84 pour la vanne en rive droite ;
- Les coefficients de déversement des seuils sont basés sur des valeurs régulièrement admises dans la littérature pour ce type d'ouvrage.

La figure suivante représente le seuil selon son état actuel.

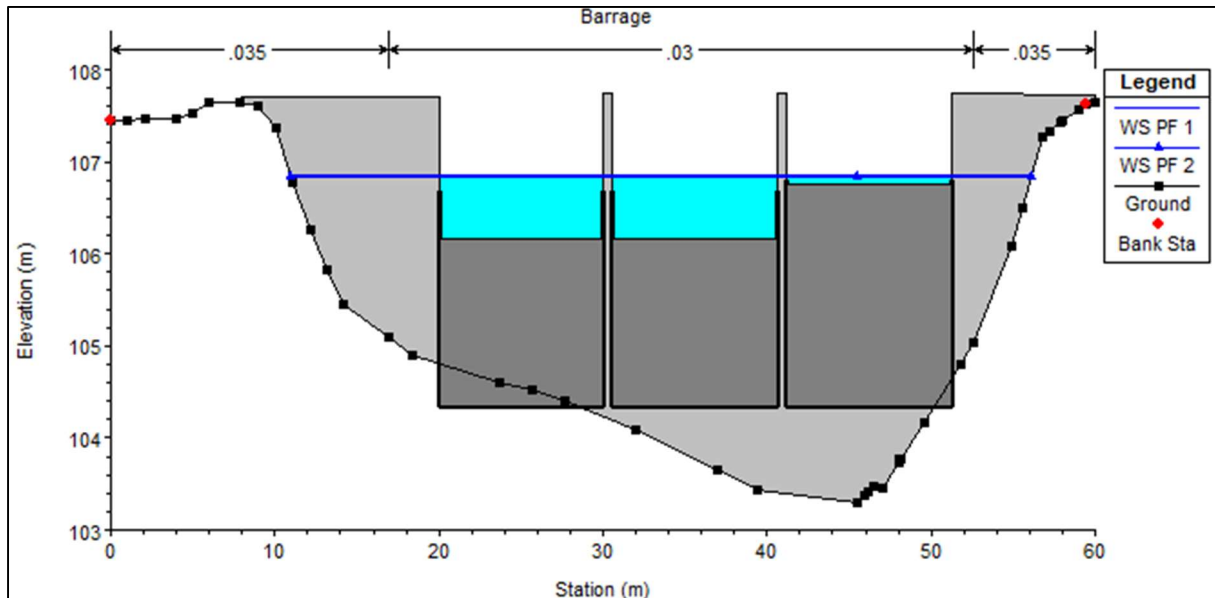


Figure 17. Seuil existant du moulin de La Roche.

5.3.3. Modélisation de la situation projetée

Les hypothèses de travail quant à la situation projetée sont les suivantes :

- La centrale existante sera mise à l'arrêt et un débit sanitaire de 100 l/s s'écoulera sous le moulin, au droit des turbines existantes ;
- Les vannes du bief d'aménée de la centrale existante sont considérées comme fermées pour les débits étudiés (entre l'étiage et 3x module) ;
- Une nouvelle centrale sera installée en place de la vanne du seuil en rive droite, composée de deux turbines de type vis d'Archimède et d'une vanne de décharge ;
- Les vannes en rive gauche seront portées à la cote de 106,85 m NGF (cote de régulation proposée) ;
- Une passe à poissons sera installée à l'entrée du bief d'aménée de la centrale existante en contournement du vannage principal.

La figure ci-dessous reprend une vue du seuil en situation projetée, avec les vis d'Archimède modélisées par leurs chambres d'eau.

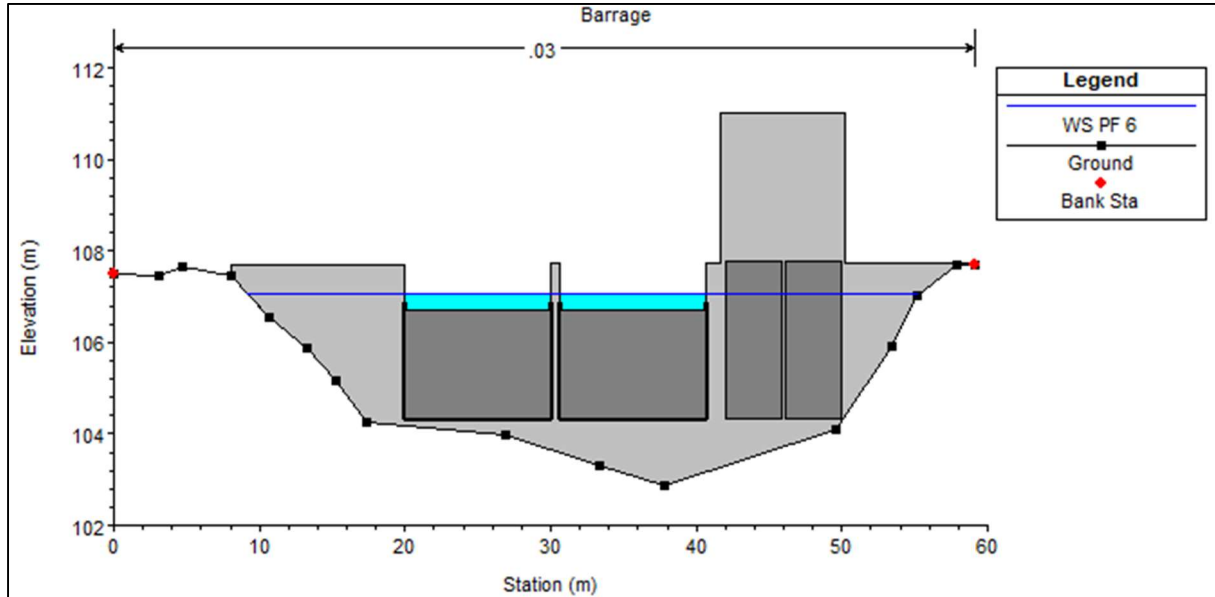


Figure 18. Situation projetée du seuil du moulin de La Roche (vue de l'amont).

5.3.4. Résultats

5.3.4.1. Calibrage

Afin de calibrer le modèle, il est nécessaire d'extrapoler les niveaux d'eau théoriques pour les débits d'intérêt sur base des mesures réalisées sur le terrain. En analysant l'évolution du niveau en fonction du débit du cours d'eau, une régression peut être définie. Cette régression permet de calibrer le modèle.

La comparaison des niveaux d'eau mesurés sur le terrain avec ceux résultant de la régression permet d'évaluer la qualité du calibrage. Ces deux jeux de données sont représentés sur le graphique suivant sur lequel on observe une très bonne adéquation des données permettant de juger de la bonne calibration du modèle.

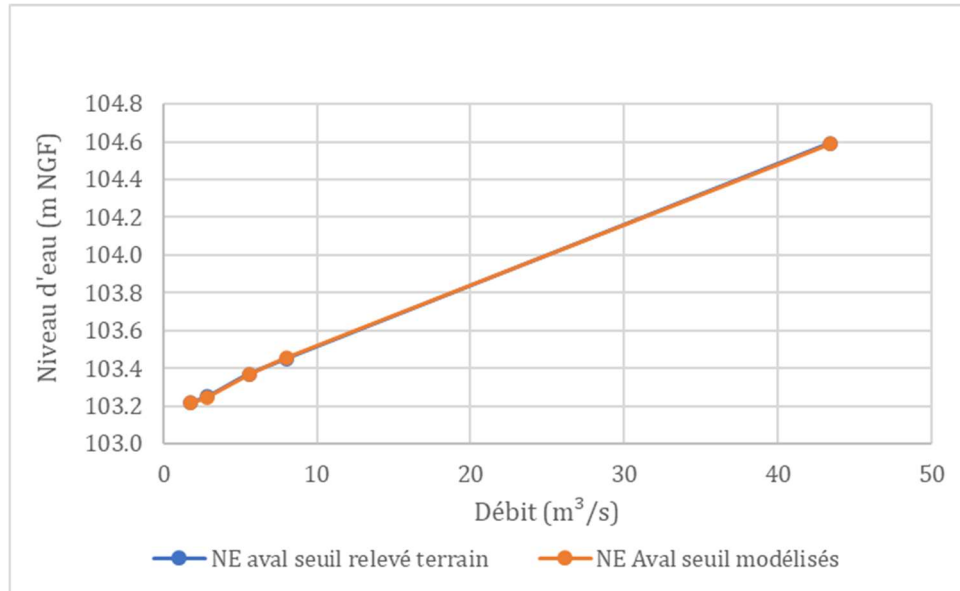


Figure 19. Vérification du calibrage du modèle.

Le coefficient de frottement du cours d'eau et le coefficient de déversement du barrage sont les paramètres les plus utilisés pour ajuster le calibrage. Le coefficient de frottement est la rugosité du fond du lit et le coefficient de déversement est la capacité du barrage à faire passer l'eau sur ce dernier en fonction de sa configuration, ses matériaux de construction et son état. Ces paramètres sont ajustés en fonction de la granulométrie des éléments de la rivière et des mesures *in situ*. Le coefficient de déversement des vannes peut également être corrigé au besoin (surverse).

Le tableau suivant reprend les valeurs des coefficients de Manning et de déversement des différents seuils.

Tableau 14. Coefficients de Manning et de déversement.

Coefficient de Manning au centre du cours d'eau	0,03
Coefficient de Manning au droit des berges du cours d'eau	0,035
Coefficient de déversement du seuil	1,86

5.3.4.2. Niveaux d'eau

L'évolution de la chute à la centrale est définie sur base de plusieurs données :

1. Topographie du site et ses compléments ;
2. Implantation de la centrale proposée (voir plans) ;
3. Niveaux d'eau amont et aval relevés *in situ* ;
4. Prédimensionnement hydraulique des ouvrages.

Les tableaux suivants présentent les résultats d'évolution de niveau d'eau au droit du seuil du moulin de La Roche en situation projetée, centrale en fonctionnement et centrale à l'arrêt.

Les considérations suivantes sont données :

- Débit caractéristique : débit total d'intérêt du cours d'eau au droit du moulin ;

- Niveaux d'eau (NE) : niveau altimétrique d'eau amont ou aval, i.e. :
 - o Soit, en amont du seuil et de la centrale ;
 - o Soit, en aval du seuil et de la centrale ;

Ces niveaux correspondent à ceux à prendre en considération pour dimensionnement de la passe à poissons. Des pertes de charges liées au turbinage de l'eau sont ensuite pris en compte pour les études de productibles et l'implantation des unités de production.

Tableau 15. Evolution des niveaux d'eau (NE) amont et aval et de la chute en situation projetée pour les débits caractéristiques et en condition de centrale en fonctionnement.

Débit caractéristique	Débit Arnon	PAP	Canal amené (débit sanitaire)	Débit turbiné	Surverse	NE amont centrale	NE aval centrale	Chute brute
	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m NGF	m NGF	m
PAP + débit brief centrale existante	0,50	0,40	0,10	0	0	106,85	103,19	3,66
Etiage	1,46	0,40	0,10	0,96	0,00	106,85	103,21	3,65
Intermédiaire (une vis qui turbine)	6,50	0,40	0,10	6,00	0,00	106,85	103,37	3,49
Module	9,27	0,40	0,10	8,77	0,00	106,85	103,50	3,35
Equipement + réservé	12,50	0,40	0,10	12,00	0,00	106,85	103,64	3,21
2MIA	18,54	0,40	0,10	12,00	6,04	107,05	103,89	3,16
3MIA	27,81	0,40	0,10	12,00	15,31	107,05	104,20	2,85

Le Tableau 16 reprend les résultats de la modélisation des niveaux d'eau et débits pour la situation projetée avec la centrale à l'arrêt.

Tableau 16. Evolution des niveaux d'eau (NE) amont et aval et de la chute en situation projetée pour les débits caractéristiques et en condition de centrale à l'arrêt.

Débit	Débit amont seuil	PAP	Canal amené (débit sanitaire)	Débit turbiné	Surverse	NE amont centrale	NE aval centrale	Chute brute
	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m NGF	m NGF	m
PAP + débit brief centrale existante	0,50	0,40	0,10	0,00	0	106,85	103,19	3,66
Etiage	1,46	0,40	0,10	0,00	0,96	106,93	103,21	3,72
Intermédiaire (une vis qui turbine)	6,50	0,40	0,10	0,00	6,00	107,05	103,40	3,65
Module	9,27	0,40	0,10	0,00	8,77	107,05	103,53	3,52
Equipement + réservé	12,50	0,40	0,10	0,00	12,00	107,05	103,66	3,39
2MIA	18,54	0,40	0,10	0,00	18,04	107,05	103,89	3,16
3MIA	27,81	0,40	0,10	0,00	27,31	107,05	104,20	2,85

6. Continuité écologique

La continuité écologique d'un cours d'eau concerne deux aspects distincts :

- 1) La continuité piscicole ;
- 2) La continuité sédimentaire.

La première se définit par le franchissement piscicole à la montaison et à la dévalaison du site.

La seconde est relative à la « libre » circulation des sédiments de l'amont vers l'aval. Peu d'informations à l'heure actuelle sont disponibles dans la littérature ou la législation.

L'Arnon étant classée en liste 1 et 2 au droit du projet, la restauration de la continuité écologique est un objectif clé du projet.

6.1. Continuité piscicole

Le présent chapitre rappelle le dimensionnement des ouvrages de franchissement (montaison et dévalaison), vérifie leur fonctionnement hydraulique à l'aide du programme Cassiopée, justifie les choix opérés et démontre l'attractivité de ces ouvrages.

Les remarques formulées par l'OFB lors de la réunion préalable sur site du 7 décembre 2021 sont également prises en compte dans le dimensionnement de ceux-ci, ainsi que les remarques formulées par écrit de la cellule d'animation du SAGE Cher Amont transmises par écrit en octobre 2021 (**annexe 9**).

Pour rappel, l'espèce amphihaline ciblée est l'anguille. Les espèces holobiotiques recensées sont la lotte, le brochet, la bouvière, le chabot, la lamproie de Planer, la vandoise et le spirilin.

Les espèces cibles définies par le SMAVAA sont également considérées, à savoir le barbeau fluviatile et le hotu en plus de celles précitées.

6.1.1. Situation existante

Le seuil du moulin de la Roche n'est pas franchissable en l'état par les espèces piscicoles en raison de la présence du seuil et de l'absence d'ouvrage de montaison spécialement dédiés.

La dévalaison est possible par surverse sur les vannes lorsque l'hydrologie le permet ou via les vannes de décharge situées dans le canal d'amenée lorsque celles-ci sont ouvertes.

L'ouvrage du seuil du moulin de la Roche peut donc être considéré comme totalement infranchissable (Classe ICE = 0) en l'état actuel.

6.1.2. Débit réservé

Le débit réservé est le débit minimum considéré nécessaire au bon fonctionnement d'un cours d'eau (qualité biologique et hydromorphologie) et permettant ainsi de garantir en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces vivants dans le cours d'eau (article L214-18 du code de l'environnement).

L'article L214-18 du code de l'Environnement fixe une valeur de débit minimale (dixième du module) à restituer en aval immédiat du seuil lorsqu'un tronçon est court-circuité. La centrale

projetée s'implantant sur le tronçon principal de l'Arnon au contraire de l'existante, aucun débit réservé n'est nécessaire pour le bras court-circuit, puisqu'à proprement parlé il n'y en a plus.

En l'état, l'autorisation de 1984 ne prévoit pas de débit réservé. Les échanges en 2015 entre l'ancien propriétaire et la DDT ne mentionnent pas non plus de débit réservé.

Toutefois un débit dit « sanitaire » dans le bief d'amenée de la centrale existante est prévu, afin d'éviter la stagnation de l'eau à cet endroit et, d'ainsi, d'éviter la dégradation du biotope tel qu'existant. Ce débit est de 100 l/s.

Additionnellement à ce débit sanitaire, un débit est réservé pour la passe à poissons. Au module, ce débit est de 400 l/s et permettra la montaison du peuplement piscicole.

Le débit non turbiné est donc de 500 l/s.

D'un point de vue pratique, la nouvelle centrale ne pourra être mise en fonctionnement que lorsque le débit de l'Arnon au droit du projet sera supérieur à 500 l/s.

6.1.3. Montaison - Passe à poissons

6.1.3.1. Dimensionnement

La passe à poissons est de type passe à bassins à échancrures et orifices de fond. Les bassins sont réalisés en béton et le radier est muni d'une rugosité de fond. Les paramètres de dimensionnement de la passe sont repris dans le tableau ci-dessous.

Tableau 17 : Paramètres de dimensionnement de la passe à poissons.

Paramètres	Hypothèses théoriques ²	Paramètres du projet
Type de PAP	Bassins à fentes profondes	
Espèces cibles	Anguille, lotte, brochet, bouvière, chabot, lamproie de Planer, vandoise et spirilin	
Chute totale (m)	3,6	3,6
Implantation	Rive droite, de l'aval vers le bief du moulin	
Plage de débit (m ³ /s)	Etiage à 3MIA	Etiages à 3MIA (Accent sur la gamme du module à 2MIA)
Chute interbassin (m)	0,25	≤ 0,25
Puissance dissipée (W/m ³)	< 150	< 150
Largeur échancrure (m)	Min 0,3	0,4
Orifice de fond (m ²)	Min 0,25 x 0,25	0,09
Débit de fonctionnement (m ³ /s)	1 à 5 % des débits en compétition	> 2%
Longueur des bassins (m)	8d < L < 10d	3,9
Largeur des bassins (m)	6d < l < 8d	2,5
Hauteur d'eau moyenne dans les bassins (m)	> 1,0	> 0,8
Longueur bassin/largeur fente	Entre 8 et 10	9,75
Largeur bassin/largeur fente	Entre 6 et 8	6,25

En suivant ces paramètres et hypothèses, le dimensionnement de la passe à poissons donne les résultats repris ci-dessous en termes géométriques et altimétriques. L'implantation de la passe à poissons est reprise sur les plans en **annexe 2**.

² Basées sur l'ouvrage de référence de M. Larinier et al. (1992) et sur les fiches techniques de l'OFB (Outil RefMADI-Hydroelec, disponible en ligne sur professionnels.ofb.fr/fr/node/81).

Tableau 18 : Caractéristiques altimétriques et géométriques de la passe à poissons.

N° de bassin	Bassin			Cloison : ouvrage n° 1 Echancrure (Villemonthe)		Cloison : ouvrage n° 2 Orifice de fond		
	Longueur du bassin (m)	Largeur du bassin (m)	Cote de radier mi-bassin (m)	Cote du radier amont (m)	Paramètres	Valeurs	Paramètres	Valeurs
0				105,90	ZDV	105,9	Pas d'orifice de fond prévu	
					L	1		
	3,0	2,5	105,90		CdWR	0,4		
1				105,90	ZDV	106,1	S	0,04
					L	0,3	CdO	0,7
	3,0	2,5	105,775		CdWR	0,4		
2				105,65	ZDV	105,85	S	0,04
					L	0,3	CdO	0,7
	3,0	2,5	105,525		CdWR	0,4		
3				105,40	ZDV	105,6	S	0,04
					L	0,3	CdO	0,7
	3,0	2,5	105,275		CdWR	0,4		
4				105,15	ZDV	105,35	S	0,04
					L	0,3	CdO	0,7
	3,0	2,5	105,025		CdWR	0,4		
5				104,90	ZDV	105,1	S	0,04
					L	0,3	CdO	0,7
	3,0	2,5	104,775		CdWR	0,4		
6				104,65	ZDV	104,85	S	0,04
					L	0,3	CdO	0,7
	3,0	2,5	104,525		CdWR	0,4		
7				104,40	ZDV	104,6	S	0,04
					L	0,3	CdO	0,7
	3,0	2,5	104,275		CdWR	0,4		
8				104,15	ZDV	104,35	S	0,04
					L	0,3	CdO	0,7
	3,0	2,5	104,025		CdWR	0,4		
9				103,90	ZDV	104,1	S	0,04
					L	0,3	CdO	0,7
	3,0	2,5	103,775		CdWR	0,4		
10				103,65	ZDV	103,85	S	0,04
					L	0,3	CdO	0,7
	3,0	2,5	103,525		CdWR	0,4		
11				103,40	ZDV	103,6	S	0,04
					L	0,3	CdO	0,7
	3,0	2,5	103,275		CdWR	0,4		
12				103,15	ZDV	103,35	S	0,04
					L	0,3	CdO	0,7
	3,0	2,5	103,025		CdWR	0,4		
13				102,90	ZDV	103,1	S	0,04
					L	0,3	CdO	0,7
	3,0	2,5	102,775		CdWR	0,4		
14				102,65	ZDV	102,85	S	0,04
					L	0,3	CdO	0,7
	3,0	2,5	102,525		CdWR	0,4		
Aval				102,40	ZDV	102,6	S	0,04
					L	0,3	CdO	0,7
					CdWR	0,4		

6.1.3.2. Modélisations hydrauliques

Les simulations hydrauliques opérées avec le logiciel Cassiopée sont reprises ci-dessous. Ces simulations ont été opérées selon quatre débits (étiage, module, 2x le module, 3x module) et selon que l'équipement hydroélectrique soit en fonctionnement ou non. Les modélisations ont été faites également pour le module et au-delà avec la mise en place d'un seuil régulateur au droit de l'échancrure avale, afin de porter la chute à 15 cm minimum à 2x le module.

Tableau 19 : Simulation hydraulique de la passe à poissons à l'étiage (1,46 m³/s) et en condition de centrale en fonctionnement.

Cloison n°	Cote de l'eau (m)	Cote du radier amont (m)	Chute (m)	Débit (m ³ /s)	Puissance volumique dissipée (W/m ³)	Tirant d'eau moyen (m)	Cote de radier mi-bassin (m)	Débit d'attrait (m ³ /s)	Type de jet
Amont	106,85								
1	106,60	105,90	0,25	0,32	125,68	0,83	105,78	0	de surface
2	106,35	105,65	0,25	0,32	125,67	0,83	105,53	0	de surface
3	106,10	105,40	0,25	0,32	125,66	0,83	105,28	0	de surface
4	105,85	105,15	0,25	0,32	125,63	0,83	105,03	0	de surface
5	105,60	104,90	0,25	0,32	125,57	0,83	104,78	0	de surface
6	105,35	104,65	0,25	0,32	125,48	0,83	104,53	0	de surface
7	105,10	104,40	0,25	0,32	125,30	0,83	104,28	0	de surface
8	104,85	104,15	0,25	0,32	124,98	0,83	104,03	0	de surface
9	104,60	103,90	0,25	0,32	124,39	0,83	103,78	0	de surface
10	104,36	103,65	0,25	0,32	123,34	0,83	103,53	0	de surface
11	104,11	103,40	0,25	0,32	121,47	0,84	103,28	0	de surface
12	103,87	103,15	0,24	0,32	118,19	0,85	103,03	0	de surface
13	103,64	102,90	0,23	0,32	112,63	0,86	102,78	0	de surface
14	103,41	102,65	0,22	0,32	103,71	0,89	102,53	0	de surface
Aval	103,21	102,40	0,20	0,32					

Tableau 20 : Simulation hydraulique de la passe à poissons à l'étiage (1,46 m³/s) et en condition de centrale à l'arrêt.

Cloison n°	Cote de l'eau (m)	Cote du radier amont (m)	Chute (m)	Débit (m ³ /s)	Puissance volumique dissipée (W/m ³)	Tirant d'eau moyen (m)	Cote de radier mi-bassin (m)	Débit d'attrait (m ³ /s)	Type de jet
Amont	106,93							0	
1	106,68	105,90	0,25	0,35	126,00	0,91	105,78	0	de surface
2	106,43	105,65	0,25	0,35	125,99	0,91	105,53	0	de surface
3	106,18	105,40	0,25	0,35	125,99	0,91	105,28	0	de surface
4	105,93	105,15	0,25	0,35	125,98	0,91	105,03	0	de surface
5	105,68	104,90	0,25	0,35	125,96	0,91	104,78	0	de surface
6	105,43	104,65	0,25	0,35	125,93	0,91	104,53	0	de surface
7	105,18	104,40	0,25	0,35	125,88	0,91	104,28	0	de surface
8	104,93	104,15	0,25	0,35	125,79	0,91	104,03	0	de surface
9	104,68	103,90	0,25	0,35	125,63	0,91	103,78	0	de surface
10	104,43	103,65	0,25	0,35	125,34	0,91	103,53	0	de surface

11	104,18	103,40	0,25	0,35	124,85	0,91	103,28	0	de surface
12	103,94	103,15	0,25	0,35	123,99	0,91	103,03	0	de surface
13	103,69	102,90	0,25	0,35	122,50	0,92	102,78	0	de surface
14	103,45	102,65	0,24	0,35	119,98	0,92	102,53	0	de surface
Aval	103,21	102,40	0,24	0,35					

Tableau 21 : Simulation hydraulique de la passe à poissons au module (9,3 m³/s) et en condition de centrale en fonctionnement.

Cloison n°	Cote de l'eau (m)	Cote de l'eau AVEC seuil (m)	Cote du radier amont (m)	Chute (m)	Chute AVEC seuil (m)	Débit (m ³ /s)	Débit AVEC seuil (m ³ /s)	Puissance volumique dissipée (W/m ³)	Puissance volumique dissipée AVEC seuil (W/m ³)	Tirant d'eau moyen (m)	Tirant d'eau moyen AVEC seuil (m)	Cote de radier mi-bassin (m)	Débit d'attrait (m ³ /s)	Type de jet
Amont	106,85	106,85												
1	106,60	106,60	105,90	0,25	0,25	0,32	0,32	125,63	125,60	0,83	0,83	105,775	0	Ouvrage n°1 : de surface
2	106,35	106,35	105,65	0,25	0,25	0,32	0,32	125,58	125,53	0,83	0,83	105,525	0	Ouvrage n°1 : de surface
3	106,10	106,10	105,40	0,25	0,25	0,32	0,32	125,49	125,39	0,83	0,83	105,275	0	Ouvrage n°1 : de surface
4	105,85	105,85	105,15	0,25	0,25	0,32	0,32	125,33	125,14	0,83	0,83	105,025	0	Ouvrage n°1 : de surface
5	105,60	105,60	104,90	0,25	0,25	0,32	0,32	125,04	124,69	0,83	0,83	104,775	0	Ouvrage n°1 : de surface
6	105,35	105,36	104,65	0,25	0,25	0,32	0,32	124,51	123,88	0,83	0,83	104,525	0	Ouvrage n°1 : de surface
7	105,11	105,11	104,40	0,25	0,25	0,32	0,32	123,54	122,43	0,83	0,83	104,275	0	Ouvrage n°1 : de surface
8	104,86	104,87	104,15	0,25	0,24	0,32	0,32	121,82	119,86	0,84	0,84	104,025	0	Ouvrage n°1 : de surface
9	104,62	104,63	103,90	0,24	0,24	0,32	0,32	118,81	115,44	0,84	0,85	103,775	0	Ouvrage n°1 : de surface
10	104,38	104,40	103,65	0,24	0,23	0,32	0,32	113,66	108,13	0,86	0,88	103,525	0	Ouvrage n°1 : de surface
11	104,16	104,19	103,40	0,22	0,21	0,32	0,32	105,31	96,90	0,88	0,91	103,275	0	Ouvrage n°1 : de surface
12	103,95	104,00	103,15	0,21	0,19	0,32	0,32	92,81	81,41	0,93	0,97	103,025	0	Ouvrage n°1 : de surface
13	103,77	103,84	102,90	0,18	0,16	0,32	0,32	76,24	62,98	0,99	1,06	102,775	0	Ouvrage n°1 : de surface
14	103,62	103,71	102,65	0,15	0,13	0,32	0,32	57,47	44,62	1,09	1,18	102,525	0	Ouvrage n°1 : de surface
Aval	103,50	103,50	102,40	0,12	<u>0,21</u>	0,32	0,32							

Tableau 22 : Simulation hydraulique de la passe à poissons au module (9,3 m³/s) et en condition de centrale à l'arrêt.

Cloison n°	Cote de l'eau (m)	Cote de l'eau AVEC seuil (m)	Cote du radier amont (m)	Chute (m)	Chute AVEC seuil (m)	Débit (m ³ /s)	Débit AVEC seuil (m ³ /s)	Puissance volumique dissipée (W/m ³)	Puissance volumique dissipée AVEC seuil (W/m ³)	Tirant d'eau moyen (m)	Tirant d'eau moyen AVEC seuil (m)	Cote de radier mi-bassin (m)	Débit d'attrait (m ³ /s)	Type de jet
Amont	107,05	107,05												
1	106,80	106,80	105,90	0,25	0,25	0,40	0,40	126,51	126,44	1,03	1,03	105,775	0	Ouvrage n°1 : de surface
2	106,55	106,55	105,65	0,25	0,25	0,40	0,40	126,46	126,34	1,03	1,03	105,525	0	Ouvrage n°1 : de surface
3	106,30	106,30	105,40	0,25	0,25	0,40	0,40	126,38	126,18	1,03	1,03	105,275	0	Ouvrage n°1 : de surface
4	106,05	106,05	105,15	0,25	0,25	0,40	0,40	126,24	125,91	1,03	1,03	105,025	0	Ouvrage n°1 : de surface
5	105,80	105,80	104,90	0,25	0,25	0,40	0,40	126,01	125,46	1,03	1,03	104,775	0	Ouvrage n°1 : de surface
6	105,55	105,56	104,65	0,25	0,25	0,40	0,40	125,62	124,72	1,03	1,03	104,525	0	Ouvrage n°1 : de surface
7	105,31	105,31	104,40	0,25	0,25	0,40	0,40	124,99	123,50	1,03	1,03	104,275	0	Ouvrage n°1 : de surface
8	105,06	105,07	104,15	0,25	0,24	0,40	0,40	123,94	121,50	1,03	1,04	104,025	0	Ouvrage n°1 : de surface
9	104,81	104,83	103,90	0,25	0,24	0,40	0,40	122,22	118,30	1,04	1,05	103,775	0	Ouvrage n°1 : de surface
10	104,57	104,59	103,65	0,24	0,23	0,40	0,40	119,44	113,30	1,05	1,07	103,525	0	Ouvrage n°1 : de surface
11	104,34	104,37	103,40	0,24	0,22	0,40	0,40	115,07	105,82	1,06	1,10	103,275	0	Ouvrage n°1 : de surface
12	104,11	104,16	103,15	0,23	0,21	0,40	0,40	108,42	95,27	1,09	1,14	103,025	0	Ouvrage n°1 : de surface
13	103,90	103,97	102,90	0,21	0,19	0,40	0,40	98,84	81,64	1,12	1,20	102,775	0	Ouvrage n°1 : de surface
14	103,70	103,81	102,65	0,20	0,16	0,40	0,40	86,11	65,90	1,18	1,28	102,525	0	Ouvrage n°1 : de surface
Aval	103,53	103,53	102,40	0,17	0,28	0,40	0,40							

Tableau 23 : Simulation hydraulique de la passe à poissons à 2MIA (18,6 m³/s) et en condition de centrale en fonctionnement.

Cloison n°	Cote de l'eau (m)	Cote de l'eau AVEC seuil (m)	Cote du radier amont (m)	Chute (m)	Chute AVEC seuil (m)	Débit (m ³ /s)	Débit AVEC seuil (m ³ /s)	Puissance volumique dissipée (W/m ³)	Puissance volumique dissipée AVEC seuil (W/m ³)	Tirant d'eau moyen (m)	Tirant d'eau moyen AVEC seuil (m)	Cote de radier mi-bassin (m)	Débit d'attrait (m ³ /s)	Type de jet
Amont	107,05	107,05												
1	106,80	106,80	105,90	0,25	0,25	0,40	0,40	126,28	126,21	1,03	1,03	105,775	0	Ouvrage n°1 : de surface
2	106,55	106,55	105,65	0,25	0,25	0,40	0,40	126,07	125,96	1,03	1,03	105,525	0	Ouvrage n°1 : de surface
3	106,30	106,30	105,40	0,25	0,25	0,40	0,40	125,74	125,54	1,03	1,03	105,275	0	Ouvrage n°1 : de surface
4	106,05	106,06	105,15	0,25	0,25	0,40	0,40	125,18	124,85	1,03	1,03	105,025	0	Ouvrage n°1 : de surface
5	105,81	105,81	104,90	0,25	0,25	0,40	0,40	124,25	123,72	1,03	1,03	104,775	0	Ouvrage n°1 : de surface
6	105,56	105,56	104,65	0,25	0,24	0,40	0,40	122,73	121,86	1,04	1,04	104,525	0	Ouvrage n°1 : de surface
7	105,32	105,32	104,40	0,24	0,24	0,40	0,40	120,26	118,87	1,04	1,05	104,275	0	Ouvrage n°1 : de surface
8	105,08	105,09	104,15	0,24	0,23	0,40	0,40	116,34	114,18	1,06	1,06	104,025	0	Ouvrage n°1 : de surface
9	104,85	104,86	103,90	0,23	0,23	0,40	0,40	110,32	107,10	1,08	1,09	103,775	0	Ouvrage n°1 : de surface
10	104,64	104,65	103,65	0,22	0,21	0,40	0,40	101,51	97,02	1,11	1,13	103,525	0	Ouvrage n°1 : de surface
11	104,44	104,46	103,40	0,20	0,19	0,40	0,40	89,54	83,80	1,16	1,19	103,275	0	Ouvrage n°1 : de surface
12	104,26	104,29	103,15	0,18	0,17	0,40	0,40	74,79	68,27	1,23	1,27	103,025	0	Ouvrage n°1 : de surface
13	104,11	104,16	102,90	0,15	0,14	0,40	0,40	58,69	52,22	1,33	1,38	102,775	0	Ouvrage n°1 : de surface
14	103,99	104,05	102,65	0,12	0,11	0,40	0,40	43,34	37,72	1,46	1,52	102,525	0	Ouvrage n°1 : de surface
Aval	103,89	103,89	102,40	0,10	0,16	0,40	0,40							

Tableau 24 : Simulation hydraulique de la passe à poissons à 2MIA (18,6 m³/s) et en condition de centrale à l'arrêt.

Cloison n°	Cote de l'eau (m)	Cote de l'eau AVEC seuil (m)	Cote du radier amont (m)	Chute (m)	Chute AVEC seuil (m)	Débit (m ³ /s)	Débit AVEC seuil (m ³ /s)	Puissance volumique dissipée (W/m ³)	Puissance volumique dissipée AVEC seuil (W/m ³)	Tirant d'eau moyen (m)	Tirant d'eau moyen AVEC seuil (m)	Cote de radier mi-bassin (m)	Débit d'attrait (m ³ /s)	Type de jet
Amont	107,05	107,05												
1	106,80	106,80	105,90	0,25	0,25	0,40	0,40	126,28	126,21	1,03	1,03	105,775	0	Ouvrage n°1 : de surface
2	106,55	106,55	105,65	0,25	0,25	0,40	0,40	126,07	125,96	1,03	1,03	105,525	0	Ouvrage n°1 : de surface
3	106,30	106,30	105,40	0,25	0,25	0,40	0,40	125,74	125,54	1,03	1,03	105,275	0	Ouvrage n°1 : de surface
4	106,05	106,06	105,15	0,25	0,25	0,40	0,40	125,18	124,85	1,03	1,03	105,025	0	Ouvrage n°1 : de surface
5	105,81	105,81	104,90	0,25	0,25	0,40	0,40	124,25	123,72	1,03	1,03	104,775	0	Ouvrage n°1 : de surface
6	105,56	105,56	104,65	0,25	0,24	0,40	0,40	122,73	121,86	1,04	1,04	104,525	0	Ouvrage n°1 : de surface
7	105,32	105,32	104,40	0,24	0,24	0,40	0,40	120,26	118,87	1,04	1,05	104,275	0	Ouvrage n°1 : de surface
8	105,08	105,09	104,15	0,24	0,23	0,40	0,40	116,34	114,18	1,06	1,06	104,025	0	Ouvrage n°1 : de surface
9	104,85	104,86	103,90	0,23	0,23	0,40	0,40	110,32	107,10	1,08	1,09	103,775	0	Ouvrage n°1 : de surface
10	104,64	104,65	103,65	0,22	0,21	0,40	0,40	101,51	97,02	1,11	1,13	103,525	0	Ouvrage n°1 : de surface
11	104,44	104,46	103,40	0,20	0,19	0,40	0,40	89,54	83,80	1,16	1,19	103,275	0	Ouvrage n°1 : de surface
12	104,26	104,29	103,15	0,18	0,17	0,40	0,40	74,79	68,27	1,23	1,27	103,025	0	Ouvrage n°1 : de surface
13	104,11	104,16	102,90	0,15	0,14	0,40	0,40	58,69	52,22	1,33	1,38	102,775	0	Ouvrage n°1 : de surface
14	103,99	104,05	102,65	0,12	0,11	0,40	0,40	43,34	37,72	1,46	1,52	102,525	0	Ouvrage n°1 : de surface
Aval	103,89	103,89	102,40	0,10	0,16	0,40	0,40							

Tableau 25 : Simulation hydraulique de la passe à poissons à 3MIA (27,8 m³/s) et en condition de centrale en fonctionnement.

Cloison n°	Cote de l'eau (m)	Cote de l'eau AVEC seuil (m)	Cote du radier amont (m)	Chute (m)	Chute AVEC seuil (m)	Débit (m ³ /s)	Débit AVEC seuil (m ³ /s)	Puissance volumique dissipée (W/m ³)	Puissance volumique dissipée AVEC seuil (W/m ³)	Tirant d'eau moyen (m)	Tirant d'eau moyen AVEC seuil (m)	Cote de radier mi-bassin (m)	Débit d'attrait (m ³ /s)	Type de jet
Amont	107,05	107,05												
1	106,80	106,80	105,90	0,25	0,25	0,40	0,40	125,86	125,79	1,03	1,03	105,775	0	Ouvrage n°1 : de surface
2	106,55	106,55	105,65	0,25	0,25	0,40	0,40	125,38	125,26	1,03	1,03	105,525	0	Ouvrage n°1 : de surface
3	106,31	106,31	105,40	0,25	0,25	0,40	0,40	124,59	124,40	1,03	1,03	105,275	0	Ouvrage n°1 : de surface
4	106,06	106,06	105,15	0,25	0,25	0,40	0,40	123,29	122,97	1,03	1,04	105,025	0	Ouvrage n°1 : de surface
5	105,82	105,82	104,90	0,24	0,24	0,40	0,40	121,17	120,65	1,04	1,04	104,775	0	Ouvrage n°1 : de surface
6	105,58	105,58	104,65	0,24	0,24	0,40	0,40	117,78	116,95	1,05	1,05	104,525	0	Ouvrage n°1 : de surface
7	105,34	105,35	104,40	0,23	0,23	0,40	0,40	112,50	111,25	1,07	1,07	104,275	0	Ouvrage n°1 : de surface
8	105,12	105,13	104,15	0,22	0,22	0,40	0,40	104,64	102,83	1,10	1,11	104,025	0	Ouvrage n°1 : de surface
9	104,92	104,93	103,90	0,21	0,20	0,40	0,40	93,66	91,26	1,14	1,15	103,775	0	Ouvrage n°1 : de surface
10	104,73	104,75	103,65	0,19	0,18	0,40	0,40	79,68	76,80	1,21	1,22	103,525	0	Ouvrage n°1 : de surface
11	104,57	104,59	103,40	0,16	0,15	0,40	0,40	63,78	60,75	1,30	1,32	103,275	0	Ouvrage n°1 : de surface
12	104,44	104,47	103,15	0,13	0,13	0,40	0,40	47,96	45,18	1,42	1,44	103,025	0	Ouvrage n°1 : de surface
13	104,34	104,37	102,90	0,10	0,10	0,40	0,40	34,18	31,93	1,56	1,59	102,775	0	Ouvrage n°1 : de surface
14	104,26	104,29	102,65	0,08	0,08	0,40	0,40	23,49	21,84	1,73	1,77	102,525	0	Ouvrage n°1 : de surface
Aval	104,20	104,20	102,40	0,06	0,09	0,40	0,40							

Tableau 26 : Simulation hydraulique de la passe à poissons à 3MIA (27,8 m³/s) et en condition de centrale à l'arrêt.

Cloison n°	Cote de l'eau (m)	Cote de l'eau AVEC seuil (m)	Cote du radier amont (m)	Chute (m)	Chute AVEC seuil (m)	Débit (m ³ /s)	Débit AVEC seuil (m ³ /s)	Puissance volumique dissipée (W/m ³)	Puissance volumique dissipée AVEC seuil (W/m ³)	Tirant d'eau moyen (m)	Tirant d'eau moyen AVEC seuil (m)	Cote de radier mi-bassin (m)	Débit d'attrait (m ³ /s)	Type de jet
Amont	107,05	107,05												
1	106,80	106,80	105,90	0,25	0,25	0,40	0,40	125,86	125,79	1,03	1,03	105,775	0	Ouvrage n°1 : de surface
2	106,55	106,55	105,65	0,25	0,25	0,40	0,40	125,38	125,26	1,03	1,03	105,525	0	Ouvrage n°1 : de surface
3	106,31	106,31	105,40	0,25	0,25	0,40	0,40	124,59	124,40	1,03	1,03	105,275	0	Ouvrage n°1 : de surface
4	106,06	106,06	105,15	0,25	0,25	0,40	0,40	123,29	122,97	1,03	1,04	105,025	0	Ouvrage n°1 : de surface
5	105,82	105,82	104,90	0,24	0,24	0,40	0,40	121,17	120,65	1,04	1,04	104,775	0	Ouvrage n°1 : de surface
6	105,58	105,58	104,65	0,24	0,24	0,40	0,40	117,78	116,95	1,05	1,05	104,525	0	Ouvrage n°1 : de surface
7	105,34	105,35	104,40	0,23	0,23	0,40	0,40	112,50	111,25	1,07	1,07	104,275	0	Ouvrage n°1 : de surface
8	105,12	105,13	104,15	0,22	0,22	0,40	0,40	104,64	102,83	1,10	1,11	104,025	0	Ouvrage n°1 : de surface
9	104,92	104,93	103,90	0,21	0,20	0,40	0,40	93,66	91,26	1,14	1,15	103,775	0	Ouvrage n°1 : de surface
10	104,73	104,75	103,65	0,19	0,18	0,40	0,40	79,68	76,80	1,21	1,22	103,525	0	Ouvrage n°1 : de surface
11	104,57	104,59	103,40	0,16	0,15	0,40	0,40	63,78	60,75	1,30	1,32	103,275	0	Ouvrage n°1 : de surface
12	104,44	104,47	103,15	0,13	0,13	0,40	0,40	47,96	45,18	1,42	1,44	103,025	0	Ouvrage n°1 : de surface
13	104,34	104,37	102,90	0,10	0,10	0,40	0,40	34,18	31,93	1,56	1,59	102,775	0	Ouvrage n°1 : de surface
14	104,26	104,29	102,65	0,08	0,08	0,40	0,40	23,49	21,84	1,73	1,77	102,525	0	Ouvrage n°1 : de surface
Aval	104,20	104,20	102,40	0,06	0,09	0,40	0,40							

Le dispositif de franchissement est de type passe à bassins à échancrures et orifices de fond. Il est composé de 14 bassins et d'un bassin supplémentaire à l'amont, permettant le repos des poissons. Les caractéristiques principales sont justifiées à l'aide de l'ouvrage de Larinier (1992) et de la réunion préalable sur site entre le bureau d'études et les autorités, ainsi que l'avis préalable du SAGE Cher Amont (**annexe 9**) :

- La passe à poissons s'implantera en rive droite de la centrale, avec l'entrée piscicole à proximité immédiate de la sortie des turbines, ce qui permet de profiter du débit turbiné en tant que débit d'attrait ;
- L'entrée piscicole et la sortie seront pourvues de rainures permettant la pose d'un batardeau pour faciliter la mise à sec de la passe ;
- Les communicants entre bassins sont de type échancrure d'une largeur de 0,40 m, correspondant aux exigences des espèces cibles ;
- Afin de permettre aux espèces au comportement benthique de franchir les bassins, des orifices de fond de 0,2 x 0,2 m sont également prévus ;
- La sortie du bassin de repos (B0) est dimensionnée de manière à limiter la vitesse d'entrée de l'eau. Ce bassin permet également le repos des poissons en évitant toute chute entre celui-ci et le cours d'eau. L'entrée sera protégée par une grille à large entrefer (25 cm) afin de limiter l'entrée de dérivants ;
- Le nombre de 14 bassins permet de réduire les chutes à un niveau acceptable pour les plus petites espèces piscicoles, tout en limitant le coût de l'ouvrage ;
- L'écrasement de la chute constatée pour les hautes eaux est compensé par la mise en place d'un seuil de 30 cm de haut au niveau de l'échancrure aval. Ce point est discuté ci-après ;
- L'entrée piscicole de la passe est orientée de manière à obtenir un jet hydraulique parallèle au jet de sortie des turbines. L'entrée piscicole sera au niveau de la sortie des turbines ;
- Les dimensions des bassins sont suffisantes pour dissiper l'énergie hydraulique et les rapports de taille longueur/largeur/largeur fente sont respectés ;
- Le débit minimum de la PAP est de 320 l/s, ce qui correspond à 2,6% du débit d'équipement (12 m³/s) ;
- Le tirant d'eau minimum oscillera entre 0,8 et 1,8 m afin de limiter à 150 W/m³ les puissances volumiques dissipées dans le régime de fonctionnement défini ;
- Une rugosité de fond, constituée de blocs (enrochement naturel ou béton préfabriqué) de 0,2 x 0,2 x 0,2 m disposés en quinconce sur le fond pour faciliter le franchissement par les petites espèces ou les espèces affectionnant les fonds. Cette rugosité n'est pas nécessaire dans le bassin de repos.

Ainsi la passe à poissons remplit les critères de dimensionnement recommandés suite aux retours d'expérience et de la littérature scientifique.

6.1.3.3. *Maintien de l'attractivité de l'ouvrage en hautes eaux*

L'étude hydraulique réalisée pour le projet met en évidence une montée des eaux rapide à l'aval lorsque les débits augmentent, tel qu'observé actuellement sur site. L'élévation du niveau d'eau aval induit irrémédiablement un écrasement de la chute aval de la passe à poissons, limitant fortement l'attractivité de celle-ci et ainsi, la facilité pour les espèces piscicoles de trouver l'entrée de l'ouvrage.

Afin de compenser cet écrasement, le porteur de projet propose la mise en place d'un seuil au niveau de la dernière échancrure aval de l'ouvrage. Ce seuil d'une hauteur de 30 cm permettra d'augmenter significativement la chute aval pour les débits variant du module à deux fois celui-ci, gamme de débits principalement rencontrée pendant la période de migration principale des espèces holobiotiques. La mise en place de ce seuil doit donc se faire hors période d'étiage.

L'auteur d'étude recommande donc ainsi, sur base de l'étude hydrologique (**chapitre 3**), d'installer ce seuil pendant la période du 1^{er} décembre au 1^{er} juin. Cette période désigne les années présentant une hydrologie classique/moyenne et peut être adaptée pour les années particulièrement sèches ou pluvieuses. Une limite d'un débit de 7 m³/s a été choisi pour définir cette période afin de maintenir une chute franchissable (≤ 25 cm) mais toutefois attractive (≥ 15 cm) pour les débits entre l'étiage et le module.

La pose de ce seuil lors de cette période nécessite la condition que la centrale est en fonctionnement. En effet, en situation de centrale à l'arrêt et au module, la pose d'un seuil à l'entrée piscicole engendre une chute de 28 cm, soit 3 cm au-delà de la limite de chute acceptable pour les espèces piscicoles cibles. Toutefois, cette situation (débit de l'Arnon au module et centrale à l'arrêt) n'est pas fréquente puisqu'elle n'est rencontrée qu'à la suite d'une défaillance technique du système de production (défaillance mécanique, perte de réseau, etc.), les entretiens et contrôles de la centrale étant prévu en basses eaux. Le dépassement de 3 cm de la chute aval dans cette situation est donc acceptable théoriquement puisque, dans la réalité, la situation ne sera pas rencontrée ou, si défaillance il y a, sur une très courte période temporelle. De plus, dans le cas où cette situation arrive, les systèmes de régulation prévus (voir **chapitre 8.1.3**) permettront de réguler le niveau d'eau amont et ainsi, d'adapter la chute aval de la passe à poissons en limitant le débit. L'autre solution envisageable sera également de retirer le seuil.

6.1.3.4. *Attractivité de l'ouvrage par rapport aux autres ouvrages*

L'un des enjeux principaux de la passe à poissons est de maintenir son attractivité par rapport aux autres ouvrages, et cela pour la plus grande gamme de débits possible et dans les périodes clés de migration des espèces cibles du cours d'eau. Pour rappel, les espèces cibles sont la lotte, le brochet, la bouvière, le chabot, la lamproie de Planer, la vandoise, le spirilin, le barbeau fluviatile et le hotu. Les périodes de migrations des espèces cibles du cours d'eau sont reprises de l'ouvrage de l'ONEMA³.

Au regard des espèces cibles et de leurs périodes de migration, les ouvrages de franchissement doivent être multi-espèces et opérationnels sur une période maximale.

³ ONEMA, 2013. Informations sur la Continuité Ecologique (ICE) – Evaluer le franchissement des obstacles par les poissons, principes et méthodes.

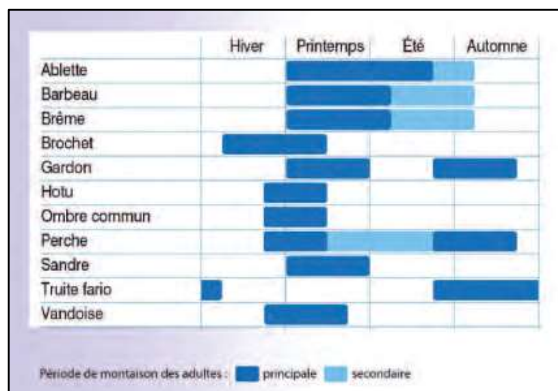


Figure 20 : Principales périodes de migration des espèces holobiotiques (source : ONEMA, 2013).

Les périodes principalement considérées par la montaison des espèces cibles sont donc la fin de l'hiver et le début du printemps. Pour les cyprinidés en général, la période de migration principale s'étale de février à juin.

Pour les salmonidés, il s'agit plutôt des saisons printanière, estivale et automnale. Le fonctionnement de la passe est appréhendé différemment pour les salmonidés qui possèdent des capacités de franchissement largement plus développées. Ce cas ne s'applique toutefois pas pour le présent projet.

Les périodes hivernale et printanière sont le plus souvent synonymes des conditions hydrologiques de hauts débits tandis que les deux autres saisons sont caractérisées par des débits plus faibles.

Lors de la réunion préalable sur site et en accord avec le retour du SAGE Cher Amont, les débits principaux de fonctionnement de la passe à poissons doivent comprendre les valeurs du module à deux fois le module, soit de 9,3 m³/s à 18,6 m³/s. Le débit minimum proposé pour la PAP est de 0,32 m³/s et évoluera selon les niveaux d'eau amont et aval.

Le débit minimum entonné par la passe à poissons (0,32 m³/s) représente 2,6% du débit turbinable (12 m³/s) si les deux turbines sont considérées et 5,3% si seule l'unité de droite est active. Il est de 3,5% en comparaison au module moyen retenu. Le débit minimum de la PAP respecte les préconisations formulées dans les ouvrages de référence concernant le débit attractif d'une passe à poissons (2-5%) par rapport aux débits en compétition.

L'étude de l'attractivité de l'ouvrage de montaison par rapport aux autres éléments du site nécessite de connaître les débits en compétition ainsi que l'occurrence de ceux-ci sur l'année. Ces données sont disponibles suite à l'étude hydrologique.

Deux éléments permettent également de favoriser l'attractivité de la passe à poissons, sans considérer les débits en compétition :

- Le choix d'implanter la passe à poissons (PAP) en rive droite de l'Arnon permet à l'entrée piscicole de bénéficier du débit turbiné en tant que débit d'attrait. Sa localisation en berge est également en adéquation avec les comportements des poissons, qui visitent davantage les berges que le centre des cours d'eau.
- L'attractivité de la passe à poissons sera également favorisée par la mise en route de la turbine en rive droite préférentiellement à celle située davantage au centre du

cours d'eau. Ce choix d'activer prioritairement la turbine en rive droite permet d'assurer une attractivité maximale en situation de basses eaux.

A l'aide de l'étude hydrologique, le tableau suivant permet de résumer les débits en compétition et l'occurrence annuelle de chaque gamme de débits étudié. La colonne d'occurrence annuelle présente la proportion de jours par an pour la gamme de débit choisie afin de se rendre compte de la durée pendant laquelle la situation étudiée est observable.

Pour rappel, les éléments à prendre en compte dans le raisonnement sont les suivants :

- Passe à poissons (considéré toujours à $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ par simplification alors que le débit varie avec la charge amont sur la première fente) ;
- Turbines = $12 \text{ m}^3/\text{s}$ ($2 \times 6 \text{ m}^3/\text{s}$) ;
- Débit sanitaire bief du moulin actuel = $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$;
- Total débits minimaux non turbinés = $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$;
- Reste : surverse sur le seuil.

Tableau 27 : Allocation d'eau et attractivité de la passe à poissons.

Débit Arnon (m^3/s)	Occurrence annuelle	Débit passe à poissons	Débit sanitaire	Surverse	Débit turbine n°1	Débit turbine n°2	Attractivité de la passe à poissons	Attractivité de la passe à poissons (Débit turbine n°1 en attrait)
Q Arnon < $1,46 \text{ m}^3/\text{s}$	<< 1%	0,40	0,10	0,00	0,96		27%	93%
$1,46 \text{ m}^3/\text{s}$ < Q Arnon < $6,5 \text{ m}^3/\text{s}$	54%	0,40	0,10	0,00	6,00		6%	98%
$6,6 \text{ m}^3/\text{s}$ < Q Arnon < $9,3 \text{ m}^3/\text{s}$	13%	0,40	0,10	0,00	6,00	2,80	4%	69%
$9,3 \text{ m}^3/\text{s}$ < Q Arnon < $12,5 \text{ m}^3/\text{s}$	11%	0,40	0,10	0,00	6,00	6,00	3%	51%
$12,5 \text{ m}^3/\text{s}$ < Q Arnon < $18,6 \text{ m}^3/\text{s}$	12%	0,40	0,10	6,10	6,00	6,00	2%	34%
$18,6 \text{ m}^3/\text{s}$ < Q Arnon < $27,8 \text{ m}^3/\text{s}$	6%	0,40	0,10	15,30	6,00	6,00	1%	23%
Q Arnon > $27,8 \text{ m}^3/\text{s}$	5%	0,40	0,10	15,30	6,00	6,00	1%	23%

L'attractivité de la passe à poissons (PAP) est calculée comme le rapport du débit de la PAP sur l'ensemble des débits en compétition, soit le débit de l'Arnon. En considérant le débit turbiné de la vis n°1, soit celle en rive droite, comme un débit d'attrait, l'attractivité est augmentée significativement.

De l'analyse ci-dessus, les conclusions suivantes peuvent être avancées :

- La passe à poissons est attractive à elle seule 54 % de l'année. En effet, jusqu'à un débit de l'Arnon de $6,5 \text{ m}^3/\text{s}$, la passe à poissons représente jusqu'à 6% des débits en compétition.
- Au-delà, la passe à poissons reste attractive, avec au minimum 1% des débits en compétition alloués à son fonctionnement. En considérant le débit de la turbine n°1 en tant que débit d'attrait, l'attractivité de la PAP est portée à 23% minimum.

La passe à poissons reste donc attractive tout au long de l'année par rapport aux unités hydroélectriques. Le chapitre 6.1.3.3 a démontré son attractivité via le maintien de sa chute aval.

Le choix de limiter le débit dans le bief de la centrale hydroélectrique actuelle à $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ permet également de limiter l'attractivité de ce bief par rapport à l'Arnon, et permet ainsi, d'orienter les poissons directement vers la PAP.

L'analyse de l'hydraulique dans la passe à poissons en regard des conditions de niveaux d'eau est proposée au point 6.1.3.2. La dernière chute et l'orientation du flux d'eau sortant de la passe sont également des critères importants pour rendre son entrée piscicole attractive.

6.1.4. Dévalaison

La technologie installée est ichtyocompatible, signifiant que les poissons ne subissent pas de dégâts dommageables lors du passage dans les turbines. Une prise d'eau ichtyocompatible et un exutoire de dévalaison ne sont donc pas nécessaires. L'OFB reconnaît également l'ichtyocompatibilité de cette technologie, sous respect de certaines conditions.

Les turbines qui seront installées respecteront les préconisations formulées lors des études validant l'ichtyocompatibilité des vis d'Archimède. Ces préconisations sont :

- Vitesse de rotation < 30 T/min ;
- Entrée des pales de la turbine pourvue de protection de type « bumper compressible » ;
- Espacement entre les pales et le manteau réduite au maximum afin d'éviter que les poissons s'y coincent, avec 5 mm comme valeur objectif ;
- Fonctionnement de la vis à la pression atmosphérique ;
- Grille de prise d'eau à large entrefer de 150 mm ;
- Inclinaison de 22° par rapport à l'horizontal.

L'espacement entre les pales et le manteau est une donnée technique du constructeur et ne peut être modifiée par après. Cet espacement est également fonction de la grandeur et du diamètre de la vis et du mouvement de celle-ci par rapport à son auge lors du fonctionnement (dilatation et vibration).



Figure 21 : Bumper compressible fixé sur les pales à l'entrée de vis d'Archimède.

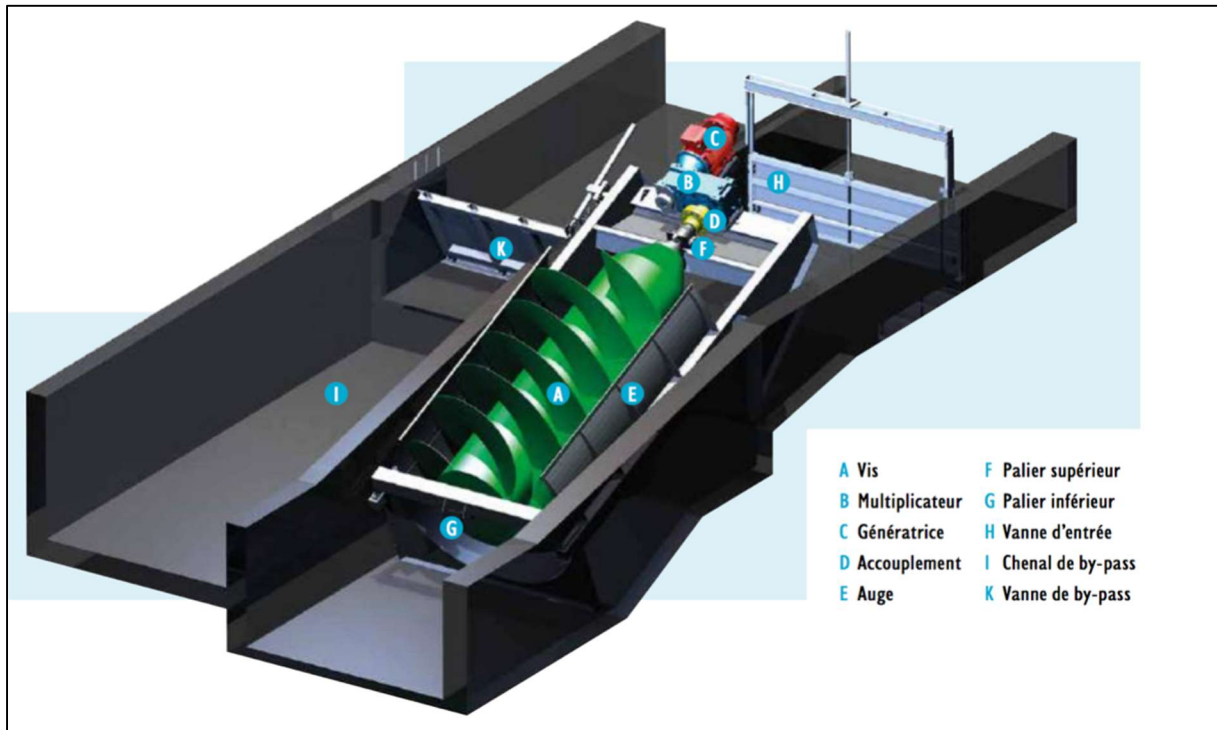


Figure 22 : Représentation schématique d'une centrale à vis d'Archimède.

Un document de synthèse réalisé par MTBE sur l'ichtyocompatibilité des vis d'Archimède peut être transmis sur demande.

La circulation des poissons de l'amont vers l'aval est donc prévue par les voies suivantes :

- Par les vis d'Archimède ;
- Par surverse sur le seuil lorsque le débit le permet ;
- Par les vannes de décharge du bief du moulin lorsque le débit le permet ;
- Par la passe à poissons.

Les voies de dévalaison sont multipliées par rapport à la situation existante, ce qui permet l'amélioration de la continuité écologique au droit du seuil du moulin de la Roche.

6.2. Continuité sédimentaire

L'enjeu sédimentaire au droit du projet et repris dans le classement du cours d'eau est normal.

6.2.1. Situation existante

Sur site, le miroir du barrage s'étend jusqu'au seuil amont de Fussy, soit sur une longueur de plus de 3,5 km. La zone amont du seuil peut donc être considérée comme un bassin de décantation dans lequel les sédiments viennent s'accumuler, tandis qu'une zone d'érosion est présente à l'aval du seuil où l'énergie de l'eau est suffisante pour emporter les plus gros sédiments vers l'aval. Cette situation est classiquement rencontrée lorsqu'un seuil est présent en rivière. Les profils en long permettent également d'illustrer cette dynamique, avec un creusement marqué à l'aval tandis que le niveau du terrain naturel à l'amont est jusqu'à 1,5 m plus haut. La principale zone d'accumulation est rencontrée à l'entrée de la centrale hydraulique existante.

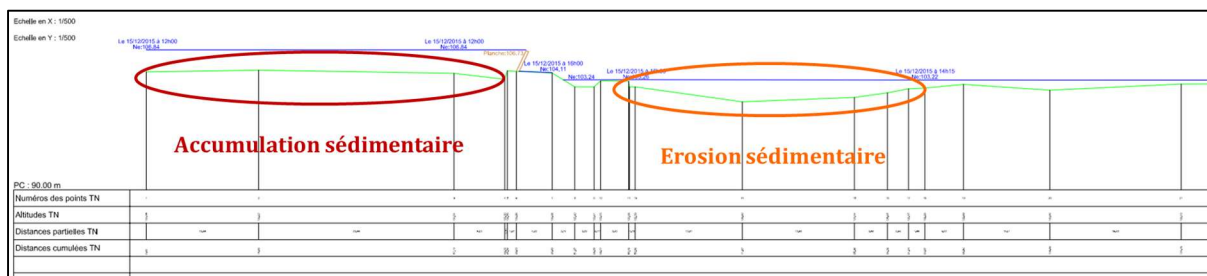


Figure 23 : Profil en long n°1 issu des plans (annexe 2).

L'analyse granulométrique des sédiments met également en évidence un colmatage des sédiments à l'amont, avec 100% de sédiments de fraction inférieure à 2 mm tandis qu'à l'aval, cette fraction ne représente plus que 60%.

L'analyse sédimentaire a également permis de démontrer l'absence de pollution (métaux lourds, PCBs, HAP, selon la norme S1, **annexe 10**).

Actuellement, le transit sédimentaire est principalement confiné aux épisodes pluvieux par surverse sur le barrage ainsi que à l'ouverture des vannes de décharge du bief de la centrale existante.

6.2.2. Situation projetée

En situation projetée et par rapport à la situation existante, le transit sédimentaire sera favorisé par plusieurs éléments :

- Le remplacement de deux des trois vannes du seuil : les vannes clapets actuelles seront remplacées par des vannes clapets capables de s'abaisser jusqu'au radier afin de s'effacer en cas de crues ;
- Le remplacement de la vanne en rive droit du seuil par deux vis d'Archimède protégées par une grille à large entrefer : les plus petits éléments de sédiments pourront emprunter cette voie de transit à tout débit, dès que les vis sont actionnées.

En effet, le fonctionnement de la centrale est prévu jusqu'à 3 x le module. Au-delà, la chute s'efface et les turbines sont arrêtées. En contrepartie, les deux vannes du seuil s'ouvrent totalement afin de s'effacer et de laisser le transit sédimentaire se faire.

L'utilisation des vannes de décharge au droit du bief de la centrale actuelle est également possible lors des hautes eaux.

7. Méthodologie de mise en œuvre

La mise en œuvre d'un projet hydroélectrique se déroule en plusieurs étapes. A chacune de ces étapes, une attention particulière est portée sur les incidences du chantier par rapport à l'environnement. Le présent mémoire étant en grande majorité descriptif, la présente section se contentera de décrire ces différentes étapes. La mise en lumière et la justification des considérations pour l'environnement durant le chantier seront opérées au travers de l'étude d'incidence.

La mise en œuvre du projet se déroulera selon les étapes ci-dessous :

- Préparation de chantier ;
- Aménagement des accès ;
- Mise en place des batardeaux ;
- Mise à sec de la zone de chantier ;
- Excavation et curage ;
- Construction des ouvrages de génie civil de première phase et préparation des installations pour le raccordement électrique ;
- Installation des éléments électromécaniques ;
- Mise en œuvre du génie civil de seconde phase ;
- Remise en état du site ;
- Mise en service et raccordement de l'installation au réseau électrique.

Pour faciliter la compréhension du lecteur, ces différentes phases sont illustrées au travers de l'**annexe 5**.

L'accès au chantier se fera préférentiellement à partir de la rive gauche de l'Arnon. Ainsi, l'accès principal au chantier se fera à partir de la voie d'accès de la rue Les Prés du Prieure.

7.1. Préparation de chantier

La première phase de réalisation du chantier vise l'aménagement de la zone en dehors du cours d'eau sur laquelle se dérouleront les travaux. Un espace suffisant est prévu pour permettre une mise en œuvre aisée et sécurisée. La zone de chantier sera séparée selon les besoins (zones de stockage des matériaux, zone de travail hors cours d'eau, zone de repos pour le personnel, zone de parcage, plateforme pour les engins de manutention, etc.).

Cette base de vie sera installée en rive gauche de l'Arnon, au droit de la parcelle cadastrale n° ZC/0030 appartenant à la commune de Lury-sur-Arnon. Un accord entre le porteur de projet

et la commune existe (**annexe 3b**). Les terres de déblais y seront également temporairement stockées.

L'île séparant l'Arnon du bief du moulin (n° cadastral ZC/0019) peut également servir de parking et d'aire de stockage polyvalente, ainsi que la cour du moulin de la Roche (n° cadastral AE/0183).

Toutefois, ces zones sont inondables et le stockage d'éléments source de pollution potentielles ne doivent pas y être stockés. L'approvisionnement en hydrocarbures et en huiles diverses de fonctionnement des engins de chantier doit donc se faire de manière ponctuelle, sans stockage sur site. Ce point est abordé plus en détail dans l'étude d'incidences sur l'environnement du présent projet.

En situation de chômage, les engins seront stockés en bordure de la route de la Roche et du chemin de remembrement perpendiculaire à celle-ci (voir **annexe 5**). Cette zone est située hors aléa d'inondation au regard du PPRI du Cher Amont.

Ces zones sont accessibles directement pour tout type de véhicules.

7.2. Aménagement des accès

L'accès au seuil ne nécessite pas d'aménagement particulier en raison de la présence de chemins existants, principalement pour l'accès en rive gauche.

Pour l'accès en rive droite toutefois, un aménagement temporaire sous forme de plaques métalliques pourrait être installé.

Un débroussaillage de la strate herbacée pourrait s'avérer nécessaire pour accéder au lit de la rivière.

Ces chemins d'accès sont repris dans l'annexe de mise en œuvre du chantier (voir **annexe 5**).

7.3. Mise en place des batardeaux

La zone de travail au sein du lit mineur du cours d'eau doit être délimitée par une barrière physique. Cette barrière permet de :

- Entraver l'arrivée d'eau vers la zone de travail et ainsi de travailler dans une zone à sec sous conditions que l'eau présente à l'intérieur des batardeaux est pompée et rejetée vers l'aval du cours d'eau ;
- Créer une piste autour du chantier qui soit empruntable par des véhicules et engins de chantier lorsque le batardeau est réalisé en terre ou big-bag ;
- Protéger le chantier des crues.

Les batardeaux seront posés de manière à maintenir l'écoulement des eaux de l'amont de l'Arnon vers l'aval via le bief du moulin existant de la Roche. Un débit réservé de 10% du module à minima, soit 930 l/s, sera maintenu dans le bras de l'Arnon au moyen de buses.

Les batardeaux doivent permettre le passage des engins de chantier. Leur largeur de crête sera ainsi portée à 3 m de large.

En outre, un batardeau se calcule en fonction de sa cote de crête. Cette cote est déterminée en fonction de l'hydrologie du cours d'eau. Le batardeau doit être suffisamment haut pour protéger

le chantier des montées de niveaux d'eau, mais il ne doit pas être à l'origine d'un risque supplémentaire par rapport aux crues.

Les données de débits observés sur la période de chantier envisagée sont reprises sur le graphique ci-dessous, pour chaque année de la période 2003-2021. L'observation de celui même à définir une hauteur de crête permettant le retient de débits allant jusque 35 m³/s. La valeur unique de 166 m³/s observée en 2016 correspondant à une crue n'est pas considérée pour le dimensionnement des batardeaux. En effet, à ce débit, le chantier sera arrêté.

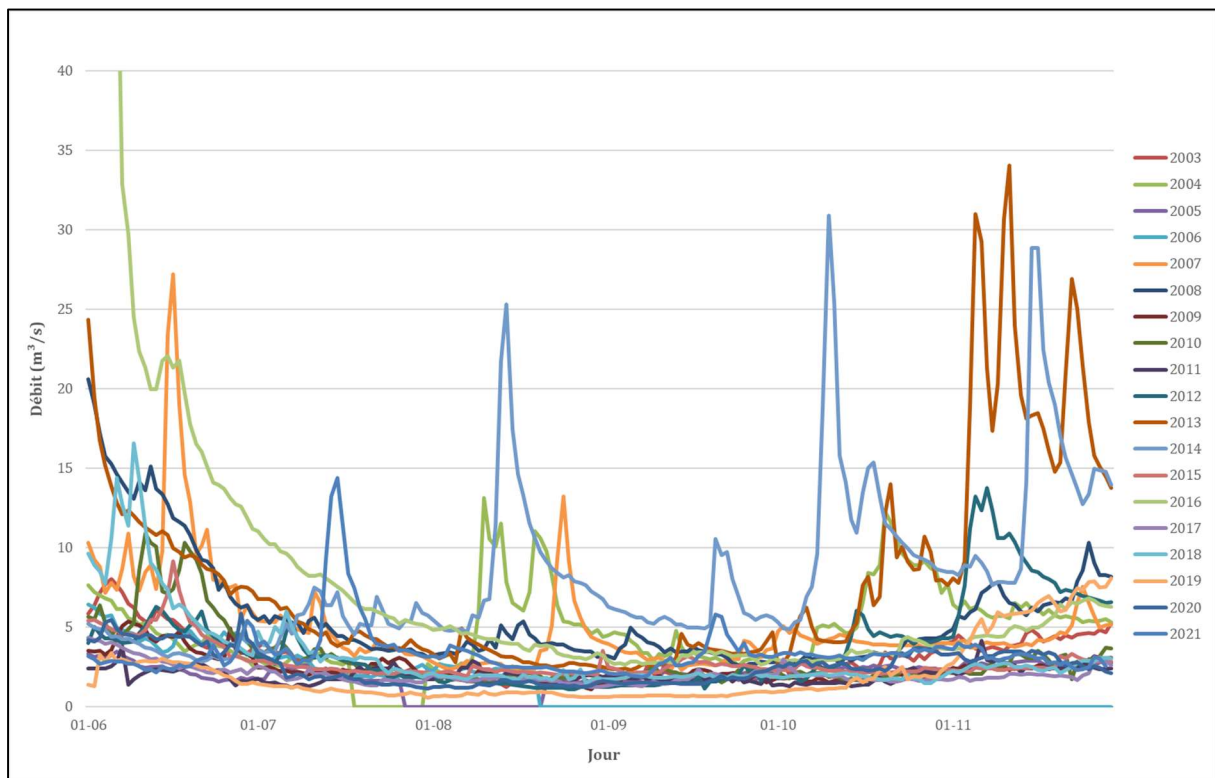


Figure 24 : Evolution des débits journaliers 2003-2021 observés au niveau du site en projet, pour la période de travaux (source : hydro.eaufrance.fr).

La détermination des niveaux d'eau ci-dessus a été opérée au moyen des paramètres suivantes.

Tableau 28 : Données utilisées pour la détermination des niveaux d'eau.

Paramètres	Paramètres du projet
Longueur déversante du seuil (m)	20 (2 x 10 m par vanne)
Emprise du batardeau sur le seuil (m)	20
Longueur déversante durant le chantier (m)	0
Cote du seuil (m NGF)	106,85
Coefficient seuil	0,3
g (m/s ²)	9,81

Les batardeaux seront construits en big-bags et en matériaux minéraux naturels. Il est recommandé de construire le noyau en matériaux grossier (200 à 1000 mm de diamètre) pour la stabilité de l'ouvrage. Les couches extérieures seront composées de matériaux plus fins (limon,

argiles) pour assurer l'étanchéité. L'utilisation des terres de déblais est possible et encouragée sous réserve de l'autorisation des autorités concernées.

La mise en place et le retrait des batardeaux se feront par avancées progressives. Cette méthode permet aux engins de circuler sur la crête au fur et à mesure que celle-ci est posée et déposée. De ce fait, on évite que les engins de chantier circulent dans une section mouillée du cours d'eau.

7.4. Mise à sec de la zone de chantier

Pour poursuivre la mise en œuvre, il est nécessaire de mettre la zone de chantier à sec. Délimitée par les batardeaux, il faut pomper l'eau présente à l'intérieure de ces batardeaux. L'eau pompée est restituée au plan d'eau aval. Le pompage sera effectif durant toute la durée du chantier. Dans les faits, il est pratiquement impossible d'avoir une zone totalement étanche. Le chantier est soumis aux infiltrations au travers des batardeaux et aux remontées de nappes phréatiques. Le débit de pompage sera adapté en fonction du besoin de pompage pour maintenir la zone à sec.

Pour limiter la concentration en matières en suspension des eaux pompées, il est prévu d'implanter un bassin de décantation au sein de la zone de travail. Les eaux pompées transiteront ensuite par ce bassin où la décantation sera effective et les eaux de ce bassin seront ensuite restituées au plan d'aval par surverse dans des pertuis cylindriques.

Les dimensions du bassin de décantation sont fonction de trois paramètres :

- La concentration en matière en suspension des eaux à décanter ;
- Le débit d'eau à décanter ;
- La concentration maximale en MES des eaux à restituer.

Ces paramètres sont difficilement déterminables en phase d'avant-projet. Un exemple de dimensionnement reprenant des hypothèses habituellement rencontrées est présenté ci-dessous.

Tableau 30 : Exemple d'un dimensionnement type d'un bassin de décantation.

Données de site			
Débit	q	0.055	[m ³ /s]
Diamètre particule	d	0.2	[mm]
Données de choix / contrainte			
Largeur utile	B	1.00	[m]
Hauteur utile	h	1.50	[m]
Vérification compatibilité largeur & hauteur			
Vérif $B \leq 2 * h$	$1 \leq$	3	OK
Largeur fixée => hauteur min	h_min	2	[m]
Hauteur fixée => largeur max	h_max	3	[m]
Détermination longueur minimale dessableur - critère géométrique $B \leq L/8$			
Longueur dessableur tel que $B \leq L/8$	L1	8	[m]
Détermination longueur minimale dessableur - critère de vitesse ($V_t \leq V_{cr}$)			
Surface section	A	1.5	[m ²]
Périmètre mouillé	P	4	[m]
Rayon hydraulique	Rh	0.38	[m]
Vitesse translation critique	v_cr	0.16	[m/s]
Vitesse de translation dans dessableur	v_t	0.04	[m/s]
Vérif OK $v_t < v_{cr}$		OK	
Vitesse de chute en eau calme (Abaque Bouvard, 1984)		0.02	[m/s]
Vitesse de chute en eau calme (formule de Zanke ; $\rho_s/\rho_{eau} = 2,65$; T = 20°C)		0.03	[m/s]
=> Vitesse moyenne (min-max)	v_D0	0.024	[m/s]
Facteur de réduction eau agitée	α	0.11	[1/m ^{0.5}]
Vitesse de chute en eau agitée (min)	v_D	0.020	[m/s]
Longueur minimale dessableur	L2	5.0	[m]
Vérif $B \leq L/8$	$1 \geq$	0.63	NOK
Détermination longueur minimale dessableur - critère géométrique $B \leq L/8$			
Critère dimensionnant		Critère géométrique	
Longueur minimale dessableur		8.0	[m]

Le dimensionnement du bassin de décantation se basera sur cet exemple en prenant en compte les valeurs mesurées lors du chantier.

Le bassin de décantation sera placé de manière à pouvoir collecter les eaux pompées à l'amont et à l'aval. La restitution se fera via un exutoire de surface jusqu'au plan d'eau aval. L'emplacement exacte du batardeau ne saurait être définie tant que la sélection du prestataire de terrassement n'a pas été réalisée ses études d'exécutions.

Une fois les batardeaux installés, une pêche de sauvegarde sera réalisée afin de sauvegarder les individus piscicoles et malacoles si leur présence sur site est avérée. Cet aspect est développé dans l'étude d'incidences du présent projet.

7.5. Excavation

Lorsque la zone est à sec, les travaux de préparation du fond de rivière pour la réception des ouvrages de génie civil peuvent être opérés. Il s'agit principalement d'excavation et de terrassement d'une part et de démolition d'ouvrages d'autre part. Les niveaux à atteindre sont renseignés dans les plans. Ces opérations nécessitent des engins de manutention et excavation tels que des pelles mécaniques. Pour effectuer leur travail, ces engins devront descendre dans la zone de travail située dans le lit mineur, dont l'accès sera assuré via les batardeaux.

Ces opérations comprennent les points suivants :

- La préparation du terrain ;
- Les déblais mécaniques ;
- Les déblais manuels ;
- Les talus, les blindages ;
- Le compactage et l'égalisation du fond de fouille ;
- Le nivellement du fond de fouille (après déblai) ;
- L'évacuation des matériaux impropres et des décombres.

L'ensemble des terres de déblais et des éléments de décombre (vannage du seuil principalement) sera stocké au niveau de la parcelle ZC/0030 en attendant d'être renvoyé vers des filières de revalorisation.

Les sédiments de la rivière extraits lors du chantier seront, quant à eux, déposés en tas relativement compacts sous forme de chapelets sur l'île centrale du site (n° cadastral ZC/0019) et en bordure de rivage, et seront dès lors réactivés au fur et à mesure des épisodes hydrologiques forts. Cette méthodologie évite la descente de camions dans le cours d'eau, limite le colmatage en laissant la majorité du lit du cours d'eau disponible pour l'écoulement des eaux et n'engendre pas un pic unique important de MES, mais plusieurs pics plus réduits et espacés dans le temps.

7.6. Mise en œuvre des ouvrages de génie civil

Lorsque la zone est prête, la mise en œuvre des ouvrages de génie civil peut être entamée. Cette mise en œuvre se déroule comme suit :

- Coulage du béton de propreté ;
- Coulage de la couche de forme ;
- Coulage du radier et mise en place du ferrailage de reprise des voiles et cloisons et des réservations pour la rugosité de fond à la passe à poissons ;
- Mise en place du ferrailage et coffrage des voiles et cloisons ;
- Coulage des voiles et cloisons ;
- Mise en place du ferrailage et coffrage des dalles ;
- Coulage des dalles.

La réutilisation des radiers existants semble possible au droit des turbines projetés et des nouvelles vannes du seuil mais toutefois, l'état de conservation de ceux-ci devra être vérifié après

mise à sec du site et devront être remplacés si nécessaire. L'installation de la passe à poissons en rive droite sera obligatoirement liée à la mise en place d'un radier.

L'agencement de chacun de ces éléments est consultable sur les plans.

Sauf avis contraire d'ENEDIS, le câble existant de raccordement de la centrale au réseau sera réutilisé.

7.7. Installation des éléments électromécaniques

Lorsque le génie civil de première phase est achevé et réceptionné, les éléments électromécaniques peuvent être installés. Les principaux éléments sont installés en premier lieu, à savoir ; turbines, vannes, grilles, etc. Cette installation se fait au moyen d'engins de manutention. Le scellement de ces éléments se fait soit directement dans le génie civil de première phase par coulage du béton de seconde phase.

Les éléments électriques et de régulation sont installés par la suite au sein du local technique. Un contrôle des installations par un organisme agréé est prévu lorsque l'installation sera achevée.

7.8. Génie civil de seconde phase

Le génie civil de seconde phase est principalement constitué par les bétons de scellement qui sont par définition mis en œuvre ultérieurement à la pose des éléments électromécaniques.

Les éléments électromécaniques concernés par le génie civil de seconde de phase sont listés au point 7.7.

7.9. Remise en état du site

A la suite de l'installation des éléments électromécaniques, le site peut être remis à l'état initial. Cette remise en état comprend :

- Le retrait de toutes les installations de chantier ;
- La dépose des batardeaux ;
- L'évacuation et le traitement de tous les déchets ;
- Le terrassement de remise en état ;
- Les gazonnements.

Dès la remise en état du site, tous les ouvrages n'étant pas dépendants des éléments électromécaniques sont pleinement fonctionnels, y compris les voies de dévalaison et de montaison piscicole.

7.10. Mise en service et raccordement électrique

Le raccordement électrique et la mise en service pourront être effectués dès lors que les installations seront réceptionnées par un organisme agréé. Les premiers kilowattheures sont injectés sur le réseau. Le bon fonctionnement des organes de contrôle commande est également vérifié et ajusté si nécessaire. Il s'agit de la mise en service des installations.

7.11. Planning

La réalisation des travaux est prévue durant la période d'été 2023. La planification des différentes étapes décrites ci-dessus sont reprises dans le planning ci-dessous.

Tableau 31 : Planning général de mise en œuvre.

Phase	Début	Fin	Durée
1 - Installation de chantier	1 ^{er} mai	31 mai	4 semaines
2 - Mise en place des batardeaux et mise à sec	31 mai	1 ^{er} juillet	4 semaines
3 - Excavation et terrassement	1 ^{er} juillet	15 juillet	2 semaines
4 - Construction des ouvrages de génie civil et pose des éléments électromécaniques	15 juillet	15 octobre	12 semaines*
5 - Dépose des batardeaux	15 octobre	21 octobre	1 semaine
6 - Installations électriques, raccordement et mise en service	21 octobre	21 novembre	4 semaines
7 - Remise en état du site	21 novembre	21 décembre	4 semaines
Total	1^{er} mai	21 décembre	31 semaines

* Congés du bâtiment inclus

Le chantier prévoit donc un commencement au 1^{er} mai 2023 et une mise en service fin 2023 le tout pour une durée de 8 mois environ.

8. Phase d'exploitation

Une fois le chantier terminé, le projet passe en phase d'exploitation. Cette phase est d'une durée beaucoup plus longue que la mise en œuvre et est régie par la durée d'autorisation accordée au travers de la présente démarche. L'objectif de la phase d'exploitation est ainsi d'exploiter de manière optimale le potentiel énergétique du site tout en mettant en œuvre l'entièreté des bonnes pratiques nécessaires à la préservation de l'environnement.

L'exploitation prévoit le pilotage de la centrale et l'entretien de tous ses éléments. Ces deux moyens d'actions suffisent à l'atteinte le double objectif d'exploitation.

8.1. Le pilotage

Le pilotage de la centrale est une action permanente qui pilote les différents organes en fonction de l'évolution des paramètres liés au site et aux éléments électromécaniques. En fonctionnement ordinaire, le pilotage est prévu pour se faire automatiquement sans intervention de l'homme. Il est bien sûr prévu qu'à n'importe quel moment, la main puisse être reprise par l'exploitant, sur site ou à distance.

L'évolution de ces paramètres est transmise par des capteurs de différente nature. La réaction de la centrale en réponse à cette évolution est commandée par l'automate. Celui-ci est préalablement programmé pour apporter une réponse qui soit en adéquation avec le double objectif d'exploitation. La mission de l'automate consiste donc à traduire les informations fournies par les capteurs pour piloter les organes de régulation présents sur la centrale.

La présente section est destinée à présenter les moyens d'actions pour la bonne exploitation du projet. La teneur du régime d'exploitation sera présentée dans les sections « allocation des débits » et « régime de gestion du niveau d'eau amont ». Le système de pilotage peut être schématisé comme suit.

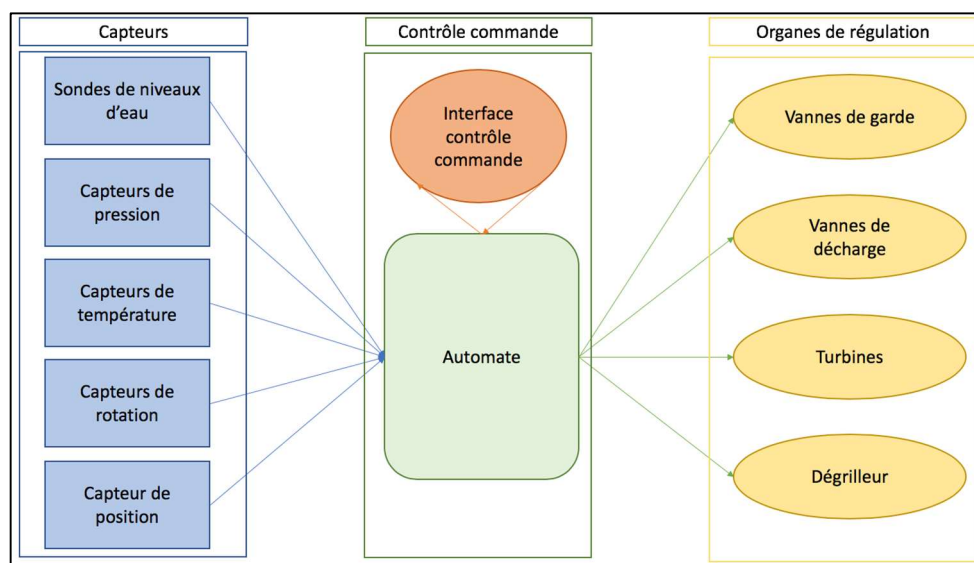


Figure 25 : Schématisation du fonctionnement par automate d'une centrale hydroélectrique.

8.1.1. Capteurs

Des capteurs de nature différentes sont prévus pour le projet. La nature des capteurs est fonction du type de paramètre qu'ils sont destinés à mesurer. Le tableau ci-dessous reprend les différents capteurs prévus pour la centrale projetée.

Tableau 32 : Catégories de capteurs prévus pour la centrale.

Capteur	Paramètres mesurés
Sonde de niveau d'eau Hydrostatiques ou RADAR/ultrason	Les sondes de niveaux d'eau sont prévues pour mesurer l'évolution des niveaux d'eau à différents endroits de la centrale. Généralement, on en installe au minimum deux, une pour le plan d'eau amont et une pour le plan d'eau aval. La mesure du niveau d'eau amont permet de déterminer le débit qui peut être turbiné en fonction de la lame d'eau calculée sur le barrage. On peut en installer plus pour avoir une meilleure visibilité sur l'évolution hydraulique au site. Par exemple une sonde après la grille permet d'évaluer la perte de charge à la grille et donc de détecter un colmatage partiel ou complet de la grille.
Capteur de pression	Les capteurs de pressions sont installés sur les éléments animés par un réseau oléo-hydraulique. Il s'agit principalement des vérins qui servent à l'actuation des organes mobiles tels que les vannes et le dégrilleur. Ils permettent de détecter des seuils de pressions qui peuvent être dus à un disfonctionnement ou à un respect de consigne. Par exemple : un rondin coincé en dessous d'une vanne qui l'empêcherait de se fermer complètement, la mise en pression du groupe hydraulique à l'allumage ou le bon gonflage d'un accumulateur de sécurité (par exemple).
Capteur de température	Les capteurs de températures sont installés sur les éléments de transformation de l'énergie qui sont les plus susceptibles de chauffer du fait des pertes liées à la transformation de l'énergie (augmentation d'entropie). Ils sont généralement installés sur les roulements, le multiplicateur, la génératrice, etc.
Capteur de rotation	Les capteurs de rotation permettent de mesurer les vitesses de la turbine. En fonction de la vitesse transmise par le capteur, l'automate peut ordonner un ordre de couplage à la vitesse de synchronisme ou un ordre d'arrêt de la turbine en cas de survitesse.
Capteur de position	Les capteurs de position sont installés sur certains éléments dont les mouvements doivent être réalisés avec précision. Ces mouvements précis sont généralement effectués par les vannes, les organes de régulation de turbines et le dégrilleur. Ils permettent de commander les actionneurs qui sont à l'origine du mouvement et de détecter des blocages ou dysfonctionnements.

L'ensemble de ces capteurs permet à l'organe de gestion de la centrale (l'automate) d'avoir une bonne visibilité sur l'évolution des paramètres environnementaux.

8.1.2. Contrôle commande

Le contrôle commande de la centrale peut être assuré de deux manières différentes : soit par automate programmé soit manuellement au travers d'une interface.

Le rôle de l'automate est de traduire l'information transmise par les capteurs et de donner les ordres d'actions vers les organes de régulations de la centrale. La traduction est régie par la programmation, faite au préalable, de l'automate. Cette programmation intervient lors de la mise en service.

Il s'agit donc de l'organe de contrôle qui permet à la centrale d'évoluer en autonomie. Toutefois, cette autonomie n'est pas totale. En effet, l'action humaine reste nécessaire et est prioritaire par rapport à l'action automatisée.

L'action humaine se fait au travers d'une interface de contrôle commande qui permet un pilotage de chaque élément. L'interface de contrôle commande est disponible sur site avec un écran tactile et à distance au moyen d'une application.

En cas de dysfonctionnement, de la centrale, celle-ci est mise en sécurité par l'automate qui commande son arrêt. Le redémarrage de celle-ci n'est possible que par une intervention humaine au travers de l'interface. L'automate caractérise et enregistre également tout type de panne survenue lors de la phase d'exploitation de la centrale.

8.1.3. Organes de régulation

Le pilotage se concrétise par l'action des organes de régulation. Ces organes de régulation sont de plusieurs types :

- L'ouverture des vannes de garde qui permettent de contrôler l'accès de l'eau aux turbines. Ces vannes sont utilisées lors de l'arrêt des machines pour leur mise en sécurité. Dans certains cas, elles peuvent également être utilisées pour la régulation fine du débit turbiné ;
- La régulation des turbines qui permet d'utiliser l'eau disponible pour la production d'électricité tout en respectant les besoins parallèles en eau du milieu et notamment, le respect du débit de la passe à poissons.

Le commandement des organes de régulation par l'automate permet de répondre aux informations récoltées par les capteurs, le tout dans l'objectif de maximiser la productivité tout en respectant les contraintes liées à l'environnement.

8.2. Régime hydraulique en situation projetée

Les centrales hydroélectriques installées au fil de l'eau ont la particularité d'avoir une influence sur le niveau d'eau du tronçon situé directement à l'amont de la centrale. L'étendue du tronçon influencé ou « miroir » est fonction de la morphologie du cours d'eau. Sur le niveau d'eau aval l'influence de la centrale est liée aux pertes de charges conséquentes au volume d'eau turbiné.

Cette influence doit donc être prévue pour intégrer les enjeux et usages liés au cours d'eau au droit du tronçon influencé. La motivation et la justification de cette prise en compte est traitée au travers de l'étude des incidences du projet.

Le régime hydraulique en situation projetée est influencé par les ouvrages comme suit :

Tableau 33 : Moyen de régulation du niveau d'eau amont

Débit	Moyen de régulation	Représentation temporelle (j/an)
≤ Débit passe à poissons	Aucune régulation, tous les organes de production électrique et de décharge sont fermés	<< 1%
Débit PAP → débit d'équipement + débit PAP	Régulation au moyen des turbines et vannes de garde	77 %
Débit d'équipement + débit PAP → débit entraînant l'arrêt des turbines	Régulation au moyen des turbines, vannes de garde et surverse du seuil	20 %
≥ débit entraînant l'arrêt des turbines	Régulation par surverse du seuil	~ 3%

L'utilisation d'ouvrages de régulation permet de maintenir les niveaux d'eau tels que décrit dans les résultats de l'étude hydraulique.

La gestion des niveaux d'eau a été déterminée de manière à respecter les enjeux et usages liés au site. L'alimentation des ouvrages de continuité écologique est toujours assurée, les turbines fonctionnent dans la mesure du débit disponible pour la production électrique. Le transit sédimentaire est pris en charge lors des épisodes de crues. Le risque d'inondations n'est pas augmenté durant les périodes de fortes crues.

La gestion du niveau d'eau amont est directement liée à l'allocation des débits du fait que la centrale soit installée au fil d'eau et que le marnage ne soit aucunement prévu.

8.3. Allocation des débits

L'allocation des débits au droit du seuil du moulin de La Roche doit tenir compte du maintien d'un débit alloué à la passe à poissons et au bief de la centrale existante, tel que détaillé dans le chapitre 6.1.2. Au total, 0,5 m³/s sont alloués à ce débit.

L'allocation des débits entre les différents ouvrages est reprise dans le tableau ci-dessous.

Tableau 34 : Allocation des débits (PAP = passe à poissons).

Débit caractéristique	Débit Arnon	PAP	Canal amené (débit sanitaire)	Débit turbiné	Surverse
	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
PAP et bief centrale existante	0,60	0,40	0,10	0,00	0,00
Etiage	1,46	0,40	0,10	0,96	0,00
Intermédiaire (une vis qui turbine)	6,50	0,40	0,10	6,00	0,00
Module	9,27	0,40	0,10	8,77	0,00
Equipement + réservé	12,50	0,40	0,10	12,00	0,00
2MIA	18,54	0,40	0,10	12,00	5,94
3MIA	27,81	0,40	0,10	12,00	15,21

8.4. Entretien et suivi de la centrale

Durant sa phase d'exploitation, la centrale sera suivie de manière régulière. Le suivi sera opéré in situ et à distance.

Le suivi in situ consistera en plusieurs visites hebdomadaires de la centrale par un personnel spécialement dédié à l'exploitation du projet. Durant ses visites, la mission confiée au personnel consistera en :

- L'examen visuel et auditif de tous les ouvrages et éléments électromécaniques ;
- Le graissage de tous les éléments électromécaniques devant être lubrifiés (roulements, génératrices, multiplicateurs, etc.) ;
- Le maintien de l'ordre et de la propreté des installations ;
- La réalisation des opérations ordinaires d'entretien ;
- La gestion des déchets ressortis par le dégrillage ;
- La vérification du libre écoulement au sein des ouvrages de franchissement ;
- L'entretien de la pleine fonctionnalité des accès au site ;
- La communication auprès des services de la police de l'eau de tout incident survenu sur la centrale.

Le personnel d'exploitation, ainsi que le maître d'ouvrage et le maintenancier disposeront d'un accès à distance sur le tableau de bord de la centrale. Cet accès se fera via un smartphone et/ou un ordinateur relié à internet. Une alarme sera activée pour tout dysfonctionnement apparu sur la centrale. En fonction de la nature du dysfonctionnement, une intervention sera mise en œuvre sur place ou à distance pour relancer la centrale hydroélectrique. Le signal d'alarme sera envoyé aux trois entités précitées.

8.5. Moyens d'interventions en cas d'incident

Comme expliqué ci-dessus, la centrale sera reliée via internet et sera en mesure d'envoyer des alarmes pour tout dysfonctionnement apparaissant à n'importe quel niveau de celle-ci. L'envoi d'alarme est synonyme d'arrêt automatique de la centrale. Si l'alarme concerne une panne qui nécessite une intervention d'urgence, les dispositions nécessaires seront prises dans les plus brefs délais, ces dispositions étant des interventions extraordinaires.

Parmi les dysfonctionnements nécessitant une intervention extraordinaire, on retrouve :

- Les casses mettant en péril l'intégrité des différents éléments ;
- L'encastrement de matériaux volumineux sur la centrale ;
- Une panne majeure sur la chaîne cinématique (génératrice, multiplicateur, freins, etc.) ;
- Une surchauffe des machines ;
- Une rupture de ferronnerie.

Dès la phase de dimensionnement, les interventions extraordinaires et ordinaires sont intégrées dans la réflexion pour en faciliter la mise en œuvre. Parmi les éléments intégrés pour faciliter la maintenance et les interventions, nous pouvons citer :

- Les accès et passerelles pour accéder aux différents éléments de la centrale ;
- Les échancrures pour batardeaux placées de manière à pouvoir mettre les chambres d'eau et la passe à poissons à sec.

Pour résumer, la centrale est équipée des éléments suffisants pour une mise en sécurité immédiate dès la perception d'un dysfonctionnement. Les réparations et mises en service nécessaires sont facilitées par les éléments prévus à cet effet.

8.1. Production électrique

La production électrique projetée de la centrale hydroélectrique a été calculée à partir des études hydrologique et hydraulique du site ainsi que sur base des caractéristiques techniques des ouvrages projetés. Les capacités de production des turbines sont également intégrées aux calculs.

Actuellement, la production moyenne sur la période 2004-2016 est de 802 968 kWh.

9. Conclusion

Le présent mémoire technique du projet de moulin de La Roche permet de détailler l'ensemble des choix opérés pour sa revalorisation technique.

Dans sa situation existante, le moulin de La Roche est équipé de deux turbines dans deux chambres d'eau distinctes, alimentées à l'aide d'un seuil composé de trois vannes de 10 m de long sur 3 m de haut environ. La vanne en rive droite est endommagée et non-fonctionnelle actuellement tandis que les deux autres vannes permettent de réguler le niveau d'eau amont. En effet, par un système de contrepoids, les clapets des vannes s'ouvrent automatiquement lorsque le niveau d'eau amont s'élève. Des vannes de décharges existent dans le bief d'amenée à la centrale hydroélectrique tandis qu'aucun ouvrage de franchissement piscicole ne permet actuellement la migration des poissons.

Le projet vise l'implantation de deux nouvelles turbines de type vis d'Archimède ainsi que d'ouvrages visant le rétablissement de la continuité écologique : passe à poissons, turbines ichtyocompatibles, vannes clapets pour le transit sédimentaire. Des vannes permettent de protéger les turbines en situation de crue.

Les modélisations hydrauliques de la situation projetée concluent que le projet n'aura pas d'incidences notables sur l'hydraulique de l'Arnon, principalement en raison de la cote de régulation proposée à 106,85 m NGF sensiblement identique au niveau d'eau observé actuellement en réaction au fonctionnement des vannes qui avoisine les 106,84 m NGF. Les vannes et turbines permettront de réguler le niveau d'eau amont.

La méthodologie de mise en œuvre du projet est également synthétisée dans le présent document. Les travaux sont prévus sur une période de 8 mois, autour de la période d'étiage de l'Arnon. Des opérateurs habilités à travailler dans les lits des cours d'eau seront en charges de l'exécution du projet. La méthodologie de mise en œuvre a été réfléchi de manière à limiter les incidences du projet sur l'environnement. Cet aspect du projet est détaillé dans la troisième partie du dossier de demande d'autorisation (étude des incidences sur l'environnement).

Une fois les travaux achevés, la gestion de la centrale est prise en charge par un automate, dont la reprise par l'humain est possible à distance et sur site. La gestion par l'automate se fera à l'aide d'un ensemble de données environnementales mesurées via diverses sondes et capteurs. Des protocoles de mise en sécurité (arrêt de la centrale) sont prévus en cas de défaillance du système (bug, inondations de la centrale, etc.).

En conclusion, le projet de revalorisation de la production hydroélectrique et de restauration de la continuité écologique au droit du moulin de La Roche se justifie des points de vue techniques et financiers. Le point de vue environnemental est abordé dans le troisième volet du dossier de demande d'autorisation environnementale.