

<b>EMETTEUR :</b> MTBE sa	<b>DATE :</b> 31/05/2024
<b>OBJET :</b> Centrales hydroélectriques de l'Isle-sur-le-Doubs	
<b>CONTENU DU DOCUMENT :</b> Etape 2 - Choix technologiques Note de synthèse	



mtbe

MERYTHERM BUREAU D'ÉTUDE

<b>DEMANDEUR</b> SEM-EnR M. Laurent BOUSSON  Hydroreturn SARL M. Guilhem de Roquefeuil	<b>REALISATION</b> Stéphane VERRAES
<b>MTBE sa</b>  Rue Guillaume d'Orange B-4100 Seraing (Belgique) Tel : +32 (0)4 325 08 00 Mail contact : <a href="mailto:hydro@mtbe.be">hydro@mtbe.be</a> Web : <a href="http://www.mtbe.be">www.mtbe.be</a>	<b>REVUE ET VALIDATION</b> Laurent DEWANDRE
	<b>REFERENCE</b> 24_SU_011_v00

## Table des matières

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION - HISTORIQUE .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>LE PROJET VLH .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>LES SCENARIOS ALTERNATIFS ET LE PROJET DIVE-TURBINE.....</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>LES ESSAIS GEOTECHNIQUES .....</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>LE PROJET VIS D'ARCHIMEDE.....</b>	<b>11</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONS – PERSPECTIVES – PLANNING .....</b>	<b>16</b>

## 1 Introduction - historique

Le projet d'équipement d'une centrale hydroélectrique de l'Isle-sur-le-Doubs a subi les éléments contextuels des dernières années (Covid-19, prix des matières premières, augmentation des taux d'intérêt, volatilité du prix de l'énergie, etc...) et a été obligé de s'adapter, de se redéfinir, pour faire face à ces éléments de contexte.

Le projet initial, imaginé dès 2018 par le porteur de projet, comprenait l'installation d'une centrale hydroélectrique à turbines VLH dans le parc (ancienne centrale des Forges), pour un débit total turbiné de 32 m<sup>3</sup>/s et une puissance de l'ordre de 500 kW. Le productible escompté était d'environ 2.300 MWh annuellement.

C'est sur cette hypothèse de travail que le Maître d'ouvrages, la société Hydroreturn a consulté le bureau d'études MTBE, en 2021, afin de développer le projet du point de vue technique et de le faire autoriser. La mission a démarré début 2022.

Assez rapidement, il est apparu que sur fond de crise d'énergie et d'augmentation du prix des matières premières, les turbines VLH, produite par la société Française MJ2 technologie, étaient particulièrement impactées, principalement au travers de leur génératrice à aimants permanent.

Après une nouvelle étude de scénarios alternatifs, la turbine Kaplan de marque DIVE a été envisagée, avec un débit légèrement inférieur (30 m<sup>3</sup>/s) mais une puissance (500 kW) et un productible escompté (2.200 MWh/an) identiques.

La modélisation des écoulements au travers des ouvrages a permis de mettre en évidence l'impact de l'allocation des débits sur la nécessité de reprofilage des voies d'eau, entre le seuil et les ouvrages de production et à la sortie des ouvrages de production jusqu'au Doubs. Plusieurs implantations, faisant varier les débits unitaires et l'emplacement des turbines, ont été testées pour minimiser les pertes de charges. Les installations au niveau de la centrale des Forges ont ainsi été limitées à 25 m<sup>3</sup>/s.

A l'été 2023, il a été décidé d'intégrer directement au projet la seconde centrale, située à l'emplacement du seuil secondaire, afin de récupérer le potentiel abandonné pour les raisons hydrauliques évoquées, au niveau des Forges. Cette seconde centrale, située à l'emplacement du moulin historique sur le Petit Doubs, a été nommée centrale du Moulin. Permettant d'entonner environ 15 m<sup>3</sup>/s. Le double projet a ainsi été revu pour obtenir 3 turbines identiques, 2 aux Forges et 1 au Moulin, pour un débit turbiné total de 40 m<sup>3</sup>/s permettant d'avoisiner les 600 kW de puissance injectée.

Une note d'intention a été rédigée et présentée aux administrations en novembre 2023 sur cette base. La note intégrait par ailleurs les éléments environnementaux (continuités écologique et sédimentaire, études d'incidences, diagnostic faune-flore-habitat, séquence ERC, etc...).

Malheureusement, ce projet a dû une nouvelle fois être revu à la suite du résultat de la campagne de mesures géotechniques, réalisée fin 2023. En effet, il est apparu que le sous-sol était principalement composé d'une roche affleurante très résistante, rendant la pose

des diffuseurs (aspirateurs) des turbines DIVE, particulièrement complexe (micro-fragmentation), chronophage (environ 6 mois de réalisation) et donc...onéreuse. Le surcoût envisagé, de l'ordre de plusieurs centaines de milliers d'euros, rendant le projet difficilement viable économiquement.

Les turbines finalement envisagées pour le projet seront donc finalement des turbines de type vis d'Archimède, permettant d'entonner au total 37,5 m<sup>3</sup>/s. En termes d'implantation, 2 machines seront installées aux Forges et 1 machine au Moulin. La puissance délivrée au réseau est de 500 kW pour un productible escompté de 2.350 MWh/an. Cette nouvelle configuration permet d'atteindre des objectifs de rentabilité suffisants pour que le projet soit viable, tout en respectant les contraintes liées à l'environnement et à la configuration du site.

La présente note retrace, pour mémoire, les étapes du développement ainsi que les éléments déterminants ayant forcés les choix, au fur et à mesure de la réflexion.

Les éléments de présentation du site et les études environnementales ne sont pas développés ici, nous renvoyons le lecteur intéressé à la note d'intention du 13/11/2023.

## 2 Le projet VLH

La figure suivante présente l'implantation imaginée aux premières heures du projet. Cette implantation a par ailleurs fait l'objet d'une dispense d'étude d'impact au travers de la procédure dite de cas par cas (Cerfa 14734-04).

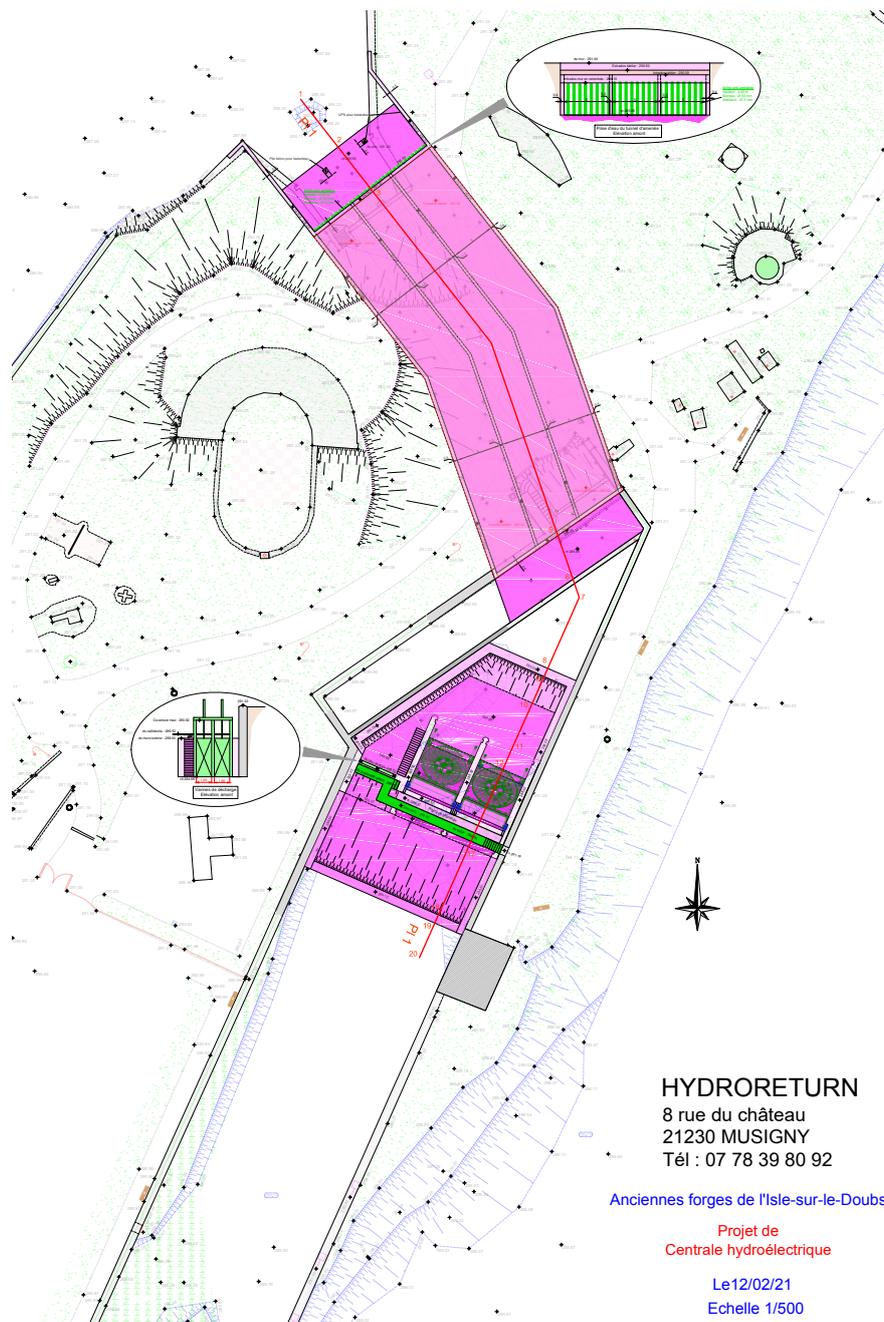


Figure 1 : Implantation du projet VLH aux Forges - 2021

L'idée, conservée depuis lors, était d'installer sous le parc un chenal de transfert vers les ouvrages de production.

Le dernier budget obtenu de la part du turbinier, en juillet 2021 était de 1,8 M€, vannerie et dégrilleur inclus. Durant l'été 2022, il a été question d'une augmentation de l'ordre de 25 à 30% pour faire face à l'augmentation du prix des matières premières.

Au-delà des explications budgétaires, il faut également signaler, a posteriori, les éléments suivants :

- Le dégrilleur proposé par MJ2 technologie est un dégrilleur à bras, remplaçant le dégrilleur rotatif habituellement proposé. Ce type de dégrilleur n'aurait pas été compatible avec les objectifs d'intégration paysagère dans le contexte du parc communal, imposée par la Mairie.
- Le tirant d'eau aval, nécessaire pour installer le modèle proposé (DN 4000) est de 3 mètres, portant le fond de coffre à une altitude approximative de 282,00 mNGF, soit près de 3 mètres en-dessous de ce qui apparaîtra au terme des études géotechniques comme la limite du sol dur (roche).

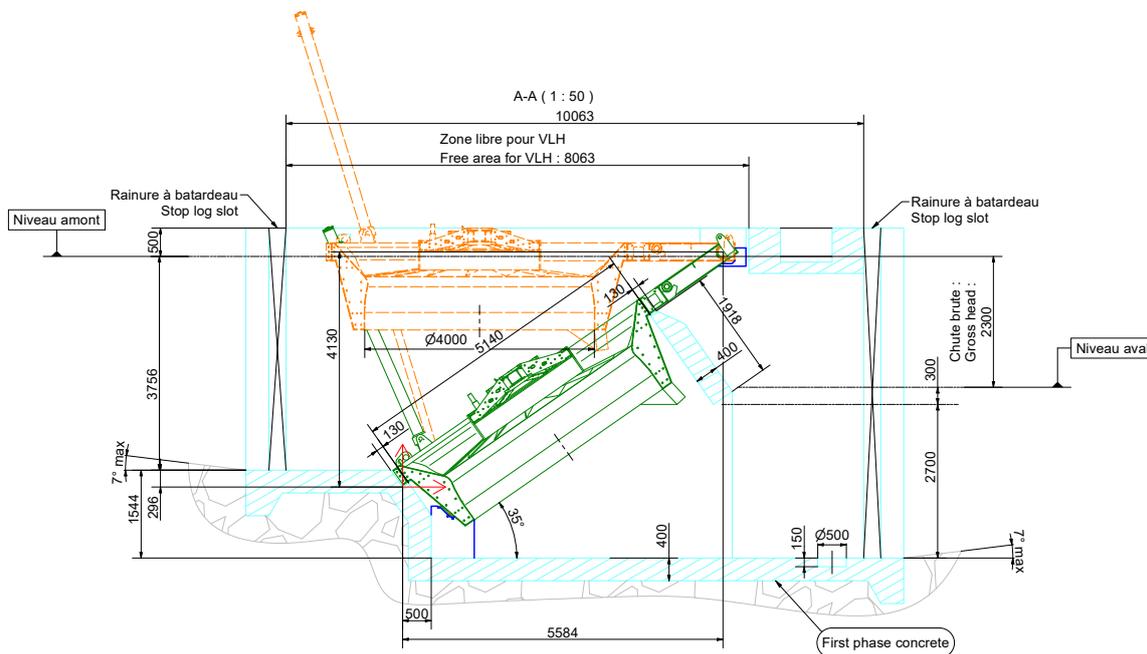


Figure 2 : Coupe du projet VLH aux Forges - 2021

- La modélisation hydraulique basée sur les relevés bathymétriques montrera, par la suite, que le gabarit du canal de fuite est également trop faible pour permettre l'évacuation d'un débit de 32 m<sup>3</sup>/s. Pour obtenir une section d'écoulement suffisante, il aurait été nécessaire de décaisser dans la roche sur une grande

longueur, avec des reprises en sous-œuvre et tout ce que cela peut représenter comme risques pour les ouvrages existants (arches, berges maçonnées, etc...).

### 3 Les scénarios alternatifs et le projet DIVE-Turbine

A la suite de cette remise en question du projet VLH pour les raisons budgétaires évoquées, une nouvelle comparaison technologique a orienté le projet vers des turbines Kaplan de marque DIVE turbine. L'intérêt majeur étant la possibilité d'immerger totalement les turbines et leur chaînes cinématiques.

Le modèle hydraulique des écoulements étant maintenant à disposition, il a rapidement été question de limiter le débit à la centrale des Forges entre 20 et 26,7 m<sup>3</sup>/s, une turbine supplémentaire étant installée dans le petit Doubs, au niveau du Moulin. La figure suivante permet d'appréhender l'implantation des différentes zones de chantier prévues.

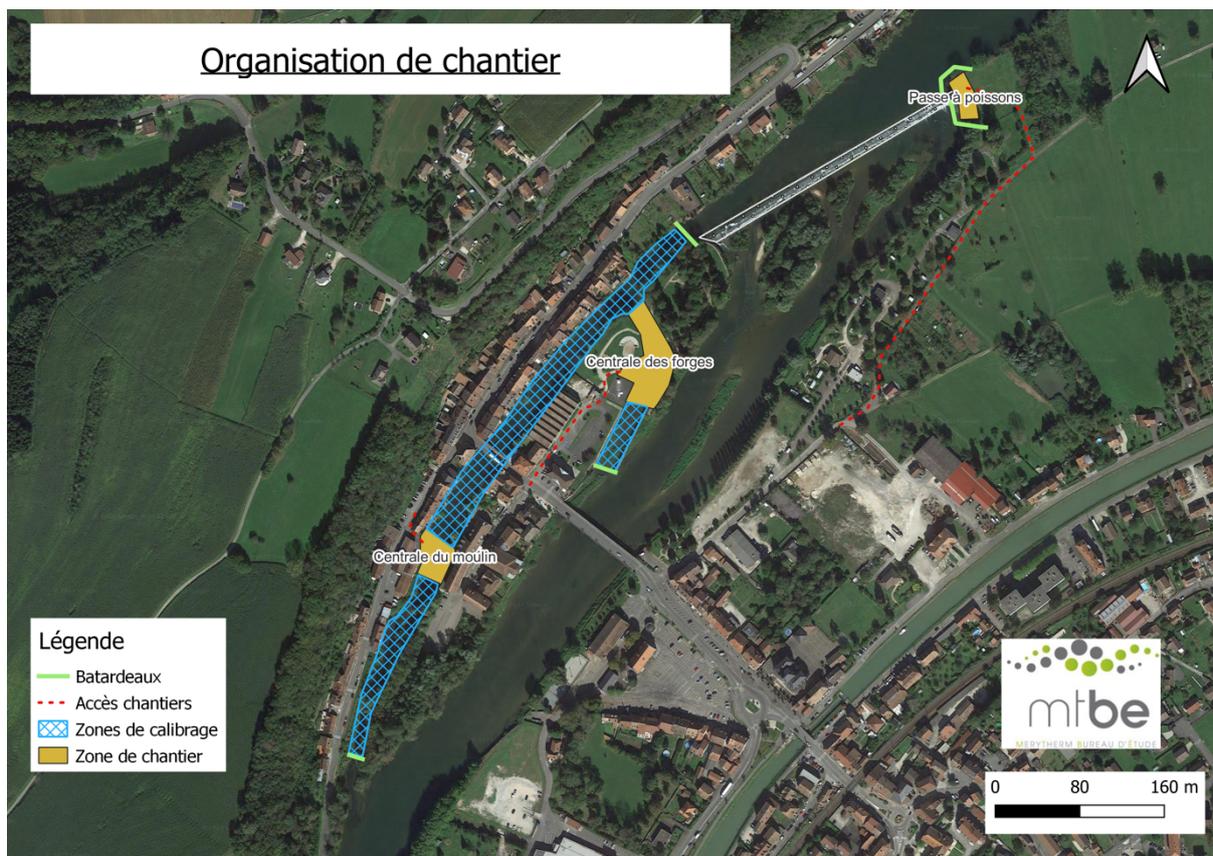


Figure 3 : Implantation des 2 centrales aux Forges et au Moulin - 2023

Les implantations, au niveau des Forges et du Moulin, sont fournies dans les figures ci-dessous. Une figure présente ensuite une coupe type de la turbine DIVE.

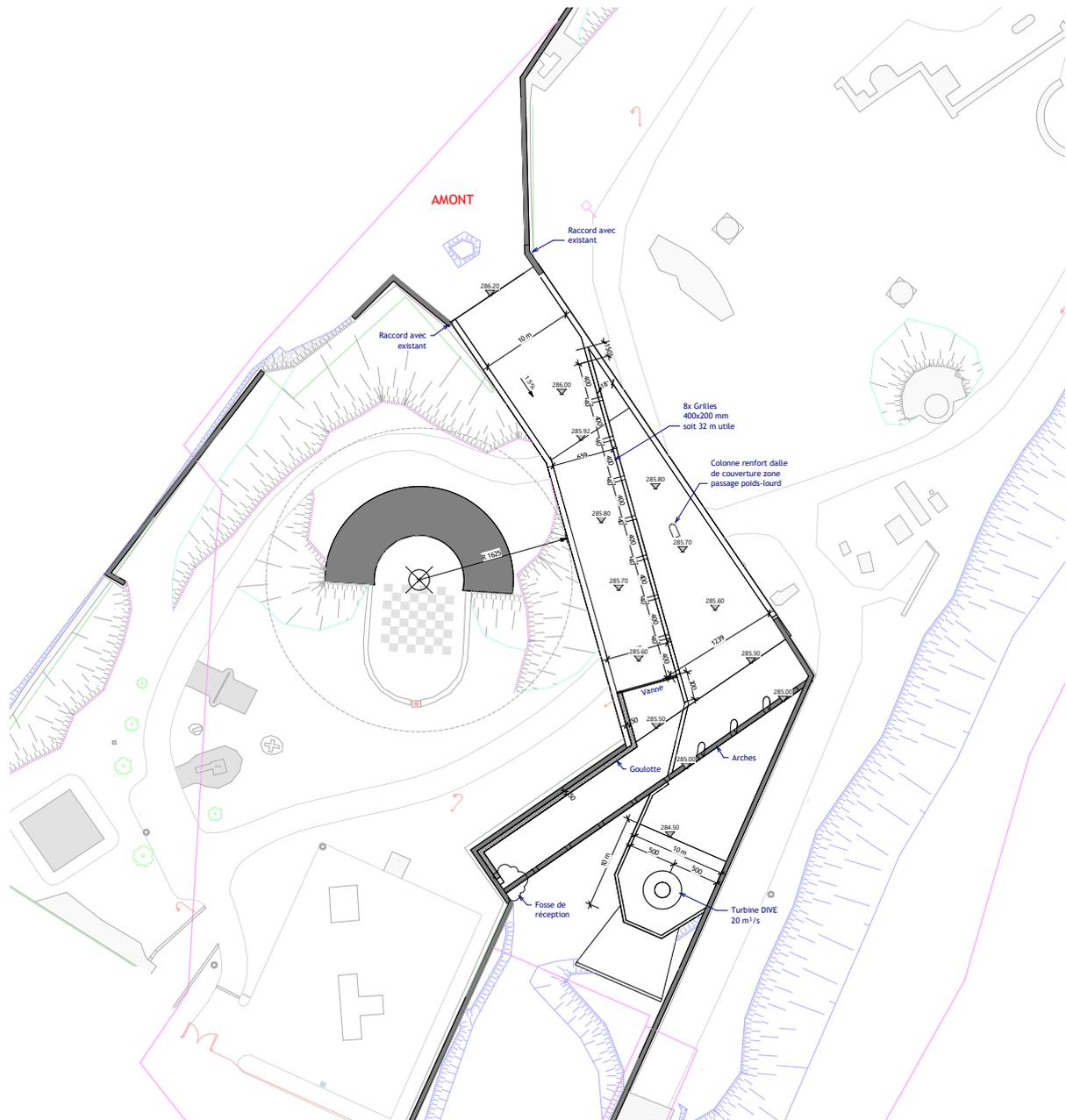


Figure 4 : Implantation du projet DIVE aux Forges - 2023

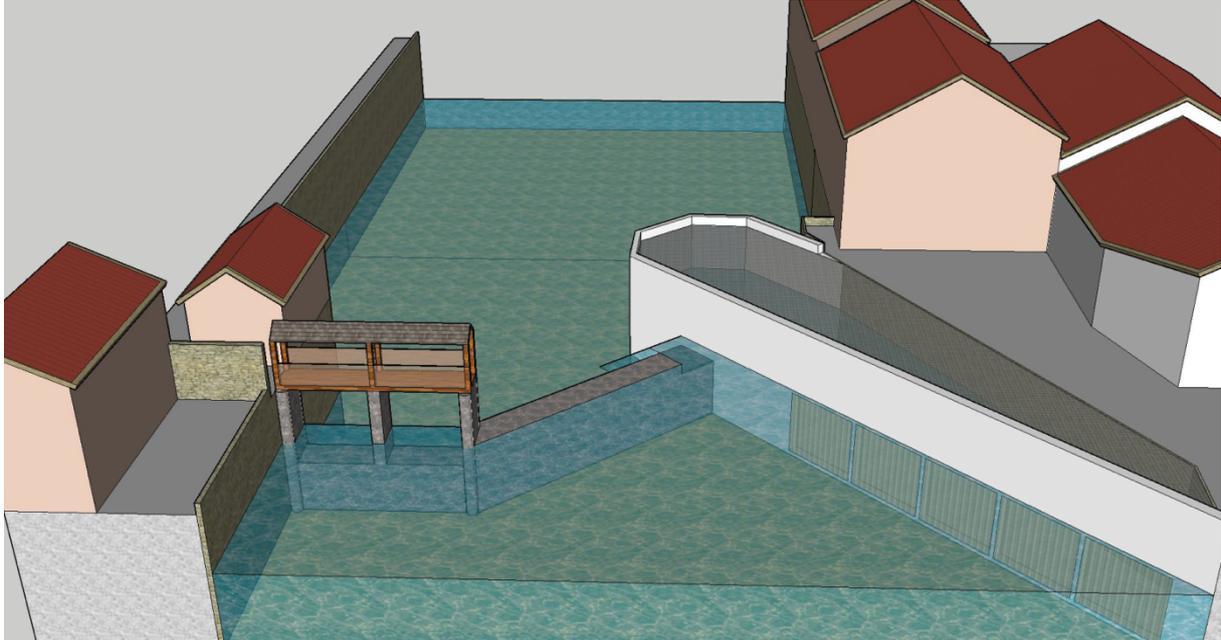


Figure 5 : Implantation du projet DIVE au Moulin - 2023

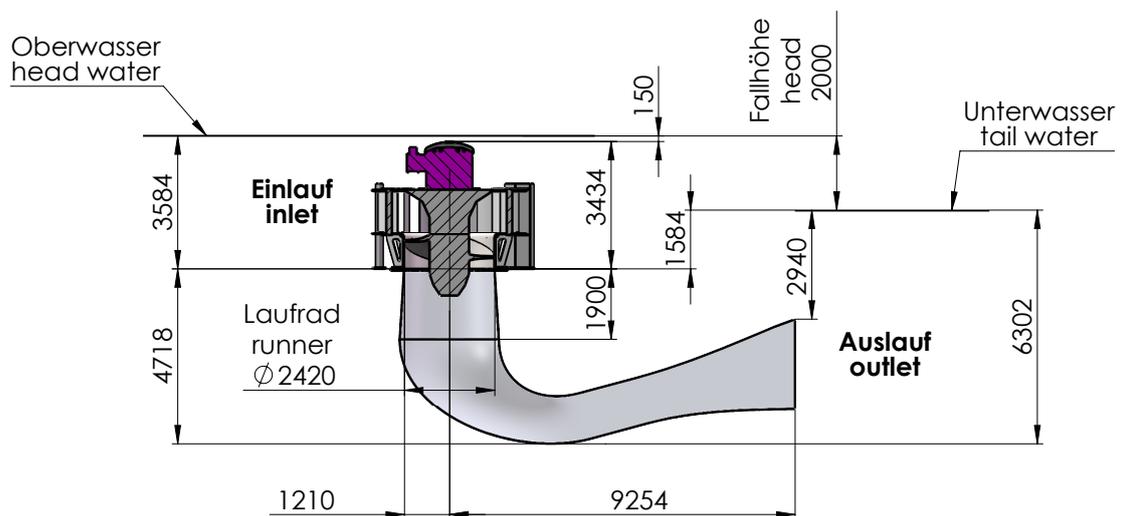


Figure 6 : Coupe type d'une turbine DIVE (Diamètre 2420mm) – 2023

Comme on peut le voir sur la dernière coupe, l'espace occupé par le diffuseur, sous la turbine, imposait alors un fond de coffre à l'altitude 279,00 mNGF.

A la lumière des études de sols (essais géotechniques), arrivées fin 2023, et également au vu du contexte des ouvrages existants, le surcoût a été chiffré à plusieurs centaines de milliers d'euros et cette version du projet a été abandonnée.

Il faut également citer les problématiques suivantes :

- Les turbines n'étant pas ichtyocompatibles, les grilles de protection, à l'entrée des turbines ont un entrefer de 20mm, rendent indispensable l'installation de dégrilleurs. Afin de permettre l'intégration de ces dégrilleurs, le choix de grilles à barreaux horizontaux a été fait, comme on peut le voir sur le plan de la page précédente. L'accès compliqué aux dégrilleurs et aux grilles a été signalé comme un point d'attention majeur.

## 4 Les essais géotechniques

Comme mentionné plus haut, la campagne d'essais géotechniques, réalisée fin 2023 pour permettre au projet défini avec les turbines DIVE d'aboutir, a remis en question et finalement conduit à l'abandon du projet sous cette forme.

En effet, la présence de la roche à une altitude comprise entre 284,50 et 285,20 m NGF sur l'ensemble des zones du projet, s'est rapidement avéré trop complexe à gérer. Les surcoûts engendrés n'auraient pu être supportés par le projet.

Le déroctage mécanique au B.R.H. a été jugé trop risqué sur les 2 sites :

- Au niveau des Forges, la protection des arches dans le chenal aval n'aurait pu être garantie,
- Au niveau du Moulin, par les constructions alentours auraient certainement subi des dommages.

Le déroctage par micro-dynamitage (mortier expansif) a été envisagé mais rapidement abandonné au vu des budgets annoncés et du temps nécessaire pour atteindre le fond de coffre souhaité.

La figure ci-dessous est extraite du rapport géotechnique et illustre la situation au niveau des Forges.

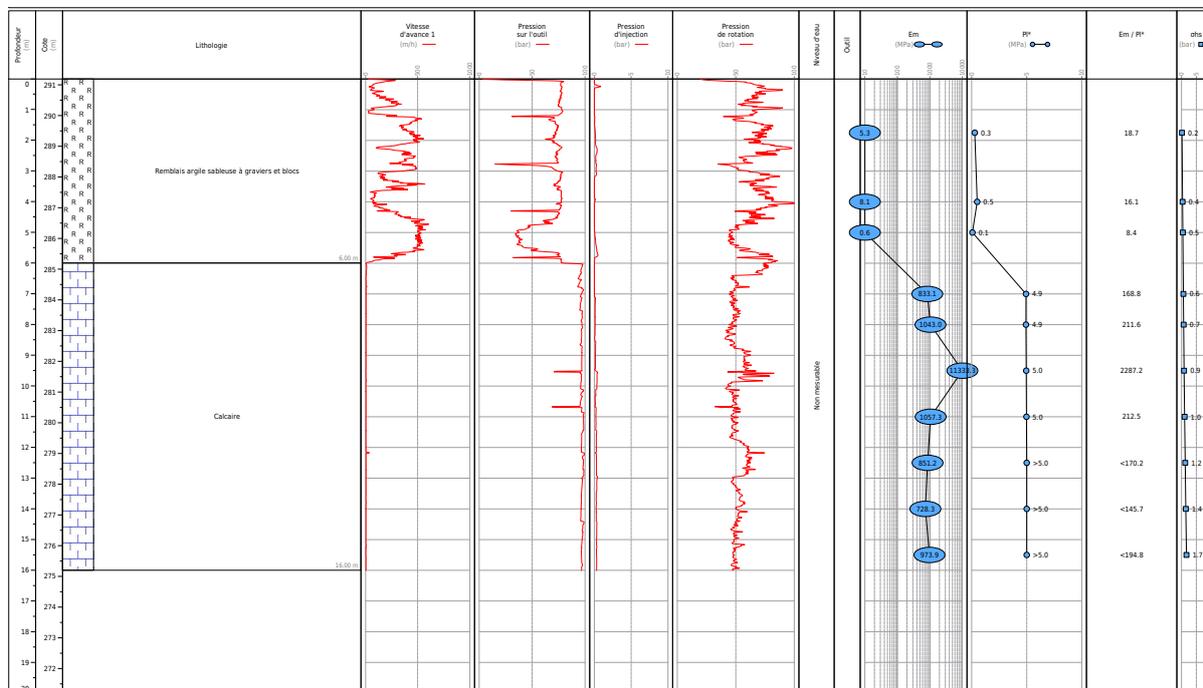


Figure 7 : Essais géotechniques au niveau des Forges – déc. 2023

## 5 Le projet Vis d'Archimède

Sur base des résultats géotechniques obtenus, 2 technologies ont été comparées :

- La turbine Kaplan installée en siphon ;
- La vis d'Archimède.

Les offres technico-budgétaires obtenues n'ont pas permis de trouver une solution pour l'intégration des turbines Kaplan en siphon au niveau des Forges. De plus, les problématiques du dégrillage des grilles d'entrée et de l'impact paysager restaient entières.

La solution intégrant 3 vis d'Archimède a donc été retenue. Les figures suivantes permettent d'appréhender le projet.

Au niveau des Forges :

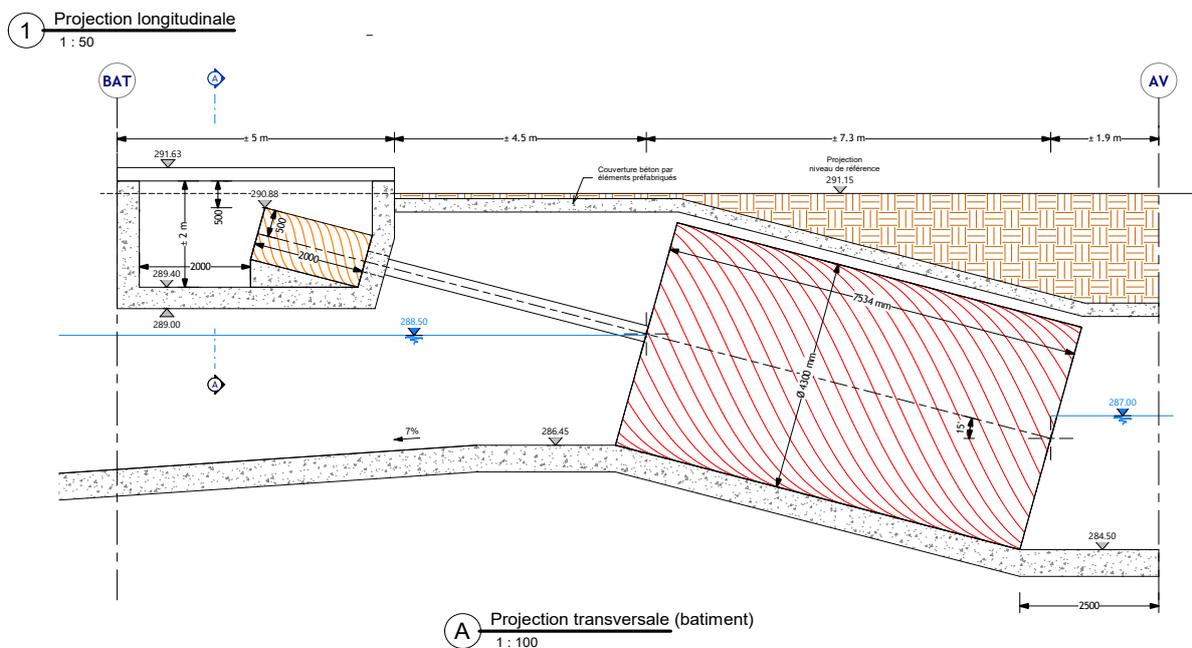


Figure 8 : Implantation du projet VIS aux Forges (vue en coupe) – 2024

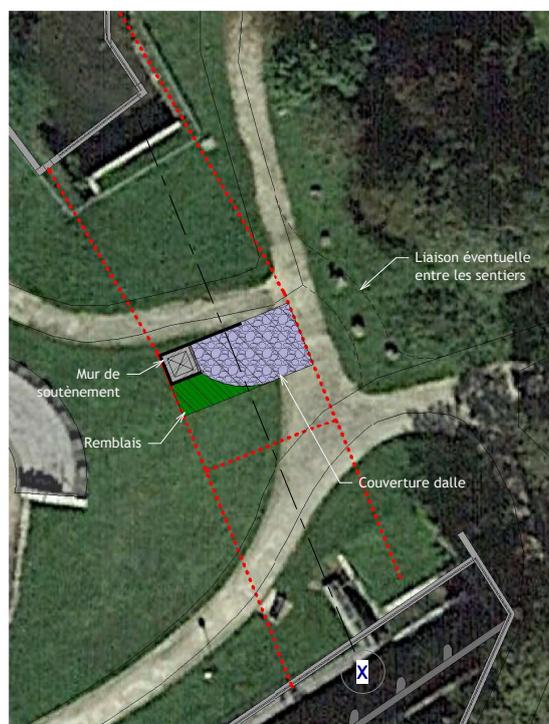


Figure 9 : Implantation du projet VIS aux Forges - 2024

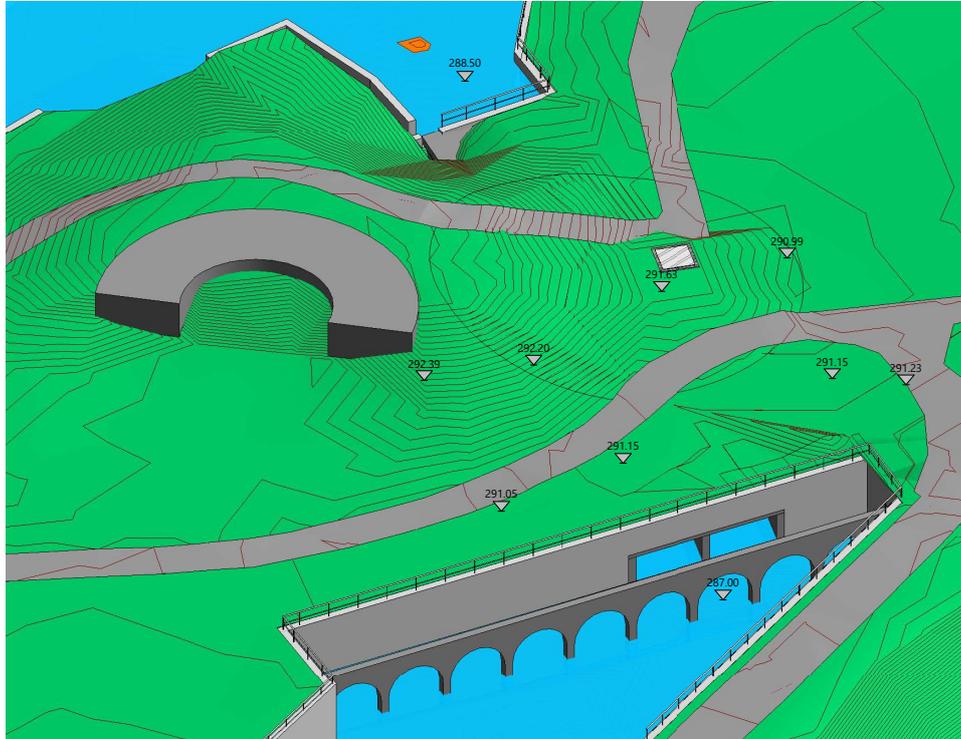


Figure 10 : Rendu 3D et implantation paysagère – projet VIS aux Forges – 2024

Au niveau du Moulin :

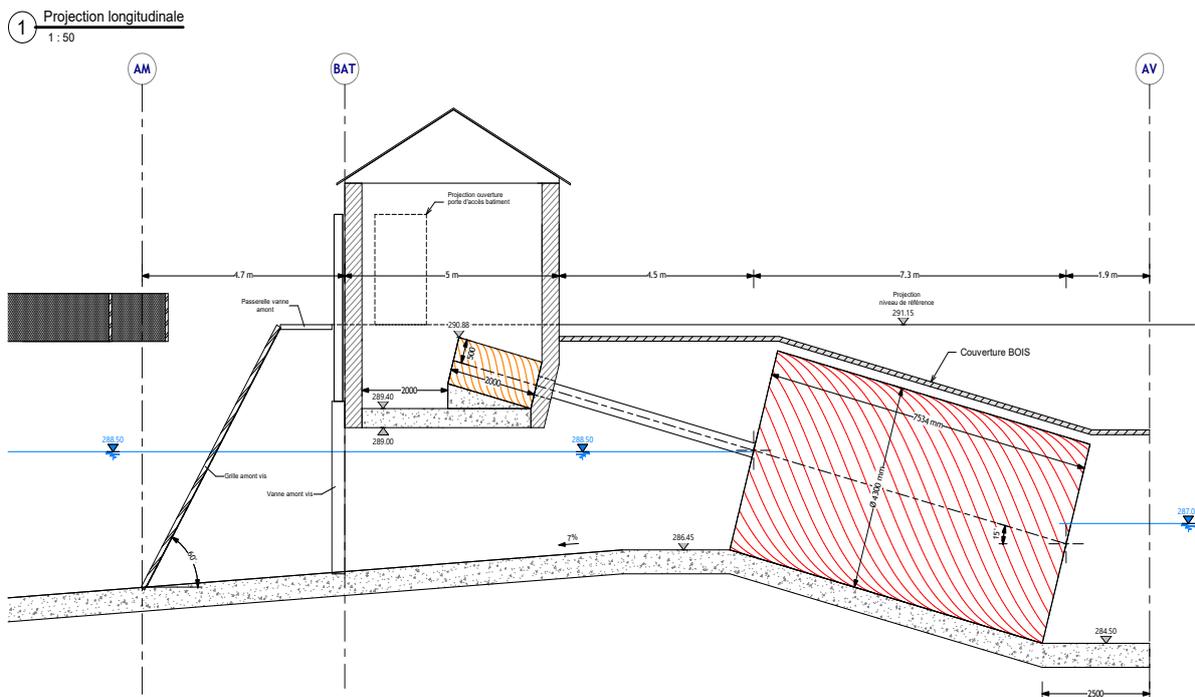


Figure 11 : Implantation du projet VIS au Moulin (vue en coupe) - 2024

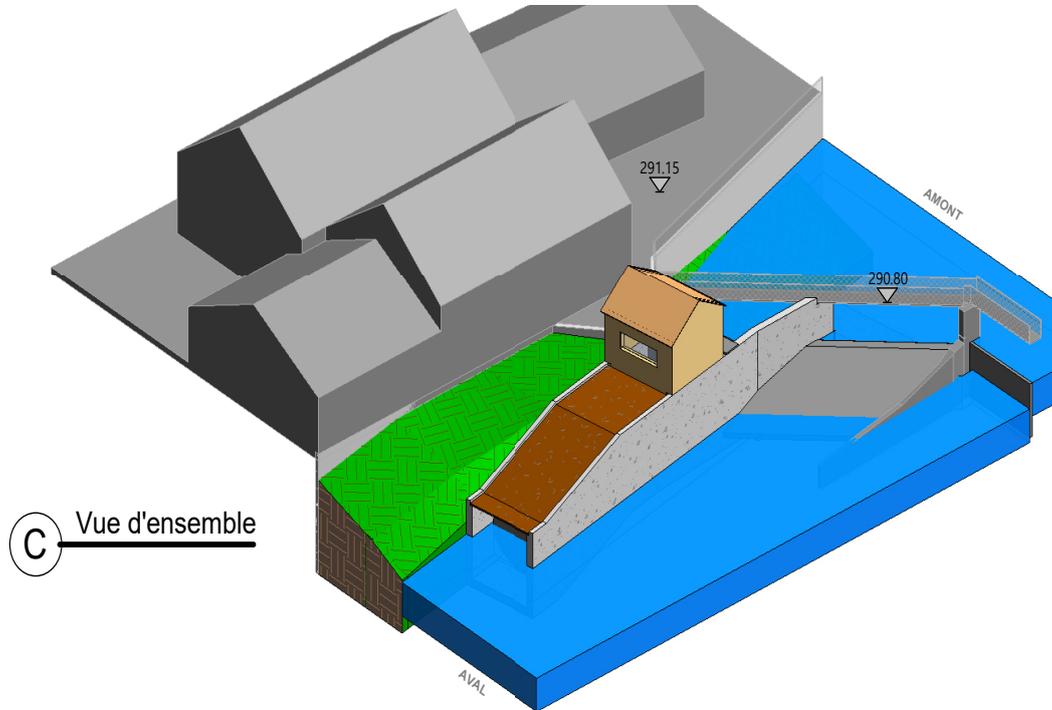


Figure 12 : Rendu 3D et implantation paysagère – projet VIS au Moulin - 2024

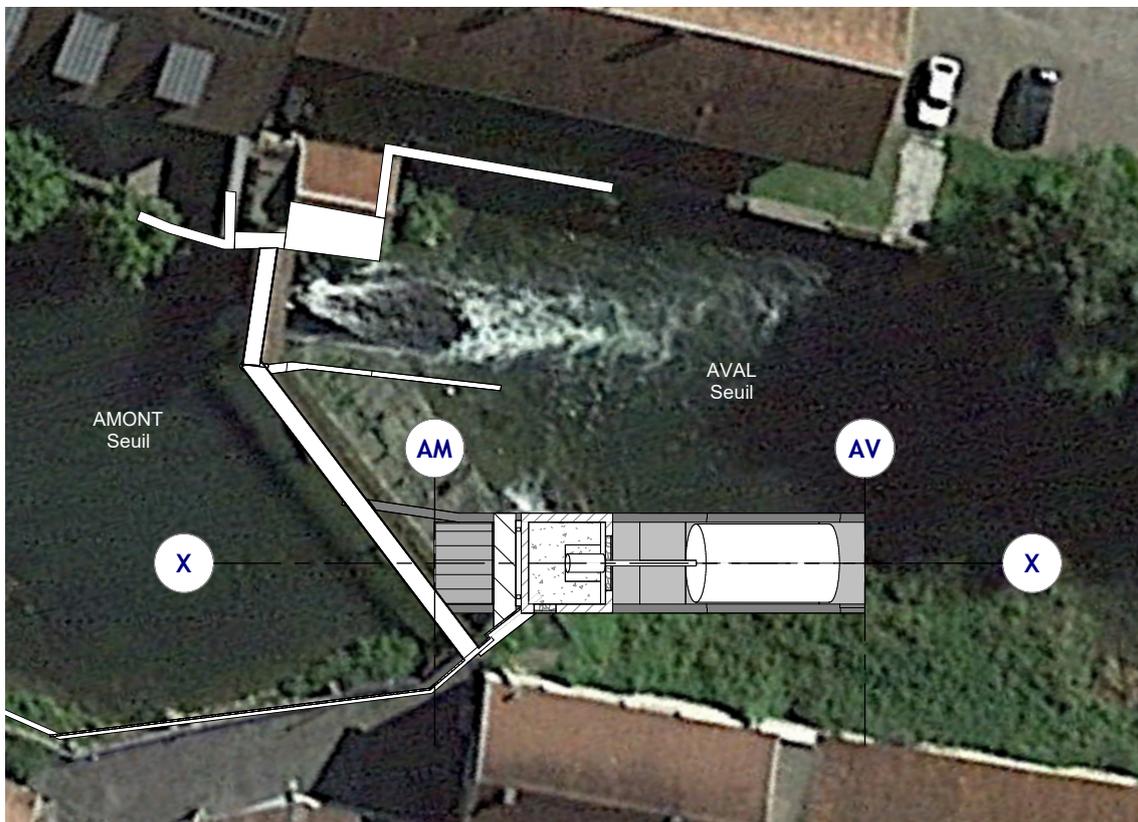


Figure 13 : Implantation du projet VIS au Moulin - 2024

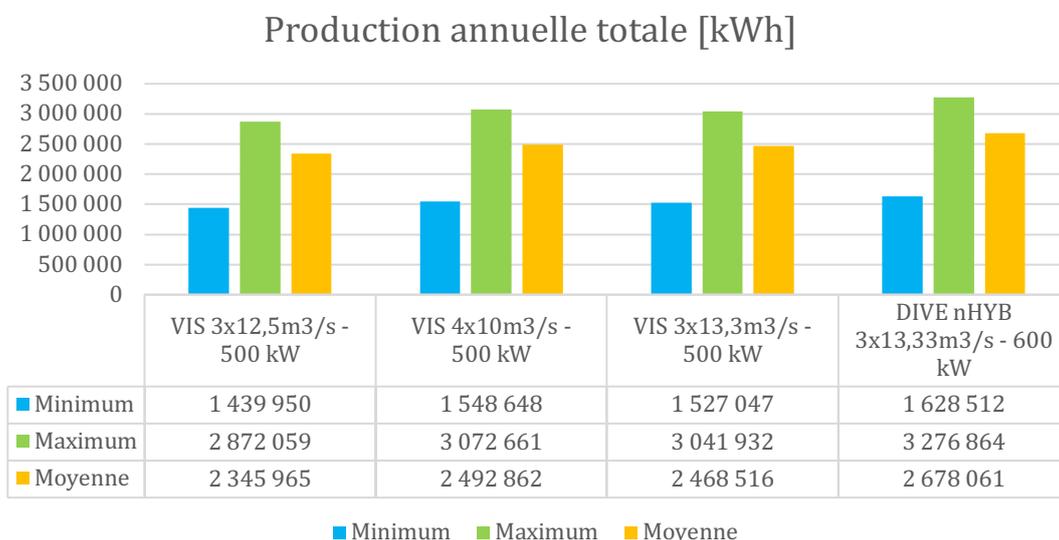
Dans les deux cas :

- Les altitudes de fond de coffre permettent de limiter le déroctage à des zones restreintes situées au pied des turbines et sur une profondeur toujours inférieure à 0,5 mètre,
- Les turbines étant ichtyocompatibles, les grilles de protection seront des grilles à large entrefer (150 mm). La grille au Moulin sera située directement en amont de la turbine. Les grilles au niveau des Forges seront situées directement en amont des turbines mais seront probablement précédées de prégrilles au niveau de l'entrée de la prise d'eau.
- Dans les deux cas, l'utilisation de drômes, couplées à des séquences programmables d'ouverture des vannes de décharge permettront d'éviter l'installation de dégrilleurs.
- Au niveau du parc, l'impact paysager est limité et a été approuvé par la Mairie. Une valorisation didactique sera envisagée au travers de panneaux et d'un site internet interactif permettant de suivre le productible en temps réel.

Les tableaux ci-dessous présentent le productible escompté pour les différents scénarios d'implantations envisagés, calculé sur base des courbes de rendements garantis obtenues de la part des fournisseurs (ces courbes restent soumises à de possibles révisions jusqu'à l'édition de l'avant-projet détaillé).

	Production annuelle totale [kWh]			
	VIS 3x12,5m3/s - 500 kW	VIS 4x10m3/s - 500 kW	VIS 3x13,3m3/s - 500 kW	DIVE nHYB 3x13,33m3/s - 600 kW
2003	2 133 895	2 260 972	2 236 219	2 441 993
2004	2 812 889	2 979 956	2 952 648	3 217 430
2005	2 696 019	2 832 277	2 805 987	3 070 535
2006	2 283 495	2 456 362	2 431 830	2 626 085
2007	2 450 394	2 654 736	2 628 857	2 794 789
2008	2 804 645	2 985 638	2 958 466	3 197 225
2009	2 124 868	2 252 579	2 228 552	2 394 673
2010	2 728 974	2 893 497	2 864 713	3 140 762
2011	2 300 707	2 388 798	2 370 285	2 668 481
2012	2 863 279	3 057 640	3 026 295	3 273 081
2013	2 757 542	2 964 275	2 932 517	3 117 429
2014	2 872 059	3 072 661	3 041 932	3 276 864
2015	2 007 845	2 121 457	2 098 990	2 270 357
2016	1 841 156	1 981 165	1 961 405	2 077 749
2017	1 816 570	1 895 866	1 878 150	2 063 376
2018	1 439 950	1 548 648	1 527 047	1 628 512
2019	2 372 647	2 532 848	2 511 312	2 759 711
2020	2 052 402	2 143 668	2 125 040	2 323 035
2021	2 214 001	2 341 336	2 321 558	2 541 074
Minimum	1 439 950	1 548 648	1 527 047	1 628 512
Maximum	2 872 059	3 072 661	3 041 932	3 276 864
Moyenne	2 345 965	2 492 862	2 468 516	2 678 061

Figure 14 : Productibles escomptés pour les 2 projets envisagés - comparaisons



**Figure 15 : Productibles escomptés pour les 2 projets envisagés - comparaisons**

## 6 Conclusions – perspectives – planning

Cette nouvelle refonte complète du projet a été présentée à la Mairie d'Isle-sur-le-Doubs en date du 17 mai 2024. Le nouveau projet a été positivement accueilli.

Sur cette base, les études d'avant-projet détaillé, qui permettront d'aboutir au dépôt de l'autorisation unique, sont entamées.

Les objectifs sont les suivants :

- Finalisation de l'avant-projet détaillé (partie technique et environnementale) : 31/07/2024
- Finalisation du dossier de demande d'autorisation unique (commune aux 2 sites) : 15/08/2024

Durant cette période, il est prévu :

- Une consultation approfondie du fabricant pour permettre l'optimisation de l'implantation et du système de régulation,
- La revue du modèle des écoulements hydrauliques,

- Le dimensionnement des prises d'eau, en ce compris le positionnement des grilles et des drômes,
- L'étude de la répartition des débits (allocations), définissant l'ordre de priorité de fonctionnement des vis d'Archimède,
- L'étude de raccordement au réseau,
- L'étude d'optimisation des chaînes cinématiques et des modes de régulations (vitesse fixe, vitesse variable, type de génératrices, etc...).