



AMO POUR LE PROJET DE RECONSTRUCTION DU BARRAGE DE VILLENEUVE SAINT GERMAIN

Mission n°2 : Complément d'études préliminaires

Note sur le potentiel hydroélectrique



Mai 2023

	<p>BRL ingénierie</p> <p>1105 Av Pierre Mendès-France BP 94001 30001 NIMES CEDEX 5</p>
	<p>OTEIS</p> <p>Immeuble Le Genesis - Parc Eureka 97 Rue De Freyr CS 36038 34060 MONTPELLIER CEDEX 2</p>

Date du document	01/05/2023
Contact	Julien VANWARREGHEM

Titre du document	<p>AMO POUR LE PROJET DE RECONSTRUCTION DU BARRAGE DE VILLENEUVE SAINT GERMAIN</p> <p>Mission n°2 : Complément d'études préliminaires</p> <p>Note potentiel hydroélectrique</p>
Référence du document :	hydroelec rbe2.docx
Indice :	A

Date émission	Indice	Observation	Dressé par	Vérifié et Validé par
17/05/2023	A	Première émission	RBE	LBA/JVA

AMO POUR LE PROJET DE RECONSTRUCTION DU BARRAGE DE VILLENEUVE SAINT GERMAIN

Mission n°2 : Complément d'études préliminaires

Note sur le potentiel hydroélectrique

1	CONTEXTE ET OBJET DU RAPPORT	5
2	ESTIMATION DU POTENTIEL HYDROÉLECTRIQUE	6
2.1	CONFIGURATION DU SITE.....	6
2.2	ELEMENTS HYDROLOGIQUES	7
2.3	ELEMENTS HYDRAULIQUES	8
2.3.1	Niveau aval.....	8
2.3.2	Niveau amont.....	9
2.3.3	Chute	9
2.4	DEFINITION ET SELECTION DES AMENAGEMENTS ENVISAGEABLES	9
2.4.1	Discussion sur le débit d'équipement optimal.....	10
2.4.2	Discussion sur le type de turbine	11
2.4.2.1	Turbine ichtyo compatible ou prise d'eau ichtyo compatible.....	11
2.4.2.2	Technologie de turbine	12
2.5	SOLUTION RETENUE.....	14
2.5.1	Description.....	14
2.5.2	Pré-évaluation des CAPEX	15
3	CONCLUSION.....	16

TABLE DES ILLUSTRATIONS

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : détail des éléments RG	6
Figure 2 : extrait de la note d'appropriation, chapitre hydrologie	7
Figure 3 : Evolution théorique des niveaux d'eau en fonction du débit en aval de l'écluse et du barrage de Villeneuve – St Germain	8
Figure 4 : évolution de la chute brute au droit du barrage en fonction du débit rivière	9
Figure 5 : illustration de l'impact de la chute sur le dimensionnement des équipements (source : MJ2).....	10
Figure 6 : évolution du productible maximal théorique en fonction du débit d'équipement.....	11
Figure 7 : exemple prise d'eau ichtyo compatible pour un débit turbiné de 35 m3/s environ.....	12
Figure 8 : vue de deux VLH (centrale de Saint Jospeh, 2*25 m3/s, Franc))	13
Figure 9 : vue d'une vis hydrodynamique (centrale de Graziac, 7 m3/s, France).....	13
Figure 10 : coupe de principe microcentrale à vis hydrodynamique	15



1 CONTEXTE ET OBJET DU RAPPORT

La Direction Territoriale du Bassin de la Seine (DTBS) des Voies Navigables de France souhaite reprendre le processus de décision sur les orientations du programme de reconstruction du barrage de Villeneuve Saint Germain, qui est à ce jour dans un état vieillissant.

En tant qu'assistant à maîtrise d'ouvrage, BRL Ingénierie doit aider la DTBS en apportant un contrôle externe sur les études préliminaires réalisées en 2014 par Artelia, et en produisant le programme de l'opération qui servira au recrutement du prochain maître d'œuvre.

L'assistance portera sur 3 missions :

- Mission 1 : Appropriation des études préliminaires et contrôle externe des études
- **Mission 2 : Complément des études préliminaires**
- Mission 3 : Rédaction du programme de l'opération

La présente note s'inscrit dans la **mission 2** et fait suite à la mission 1 produite par BRL Ingénierie en février et avril 2023 (indice A). **Elle a pour objet d'estimer, avec les données actuellement disponibles, le potentiel hydroélectrique du site du barrage de Villeneuve-Saint-Germain.**

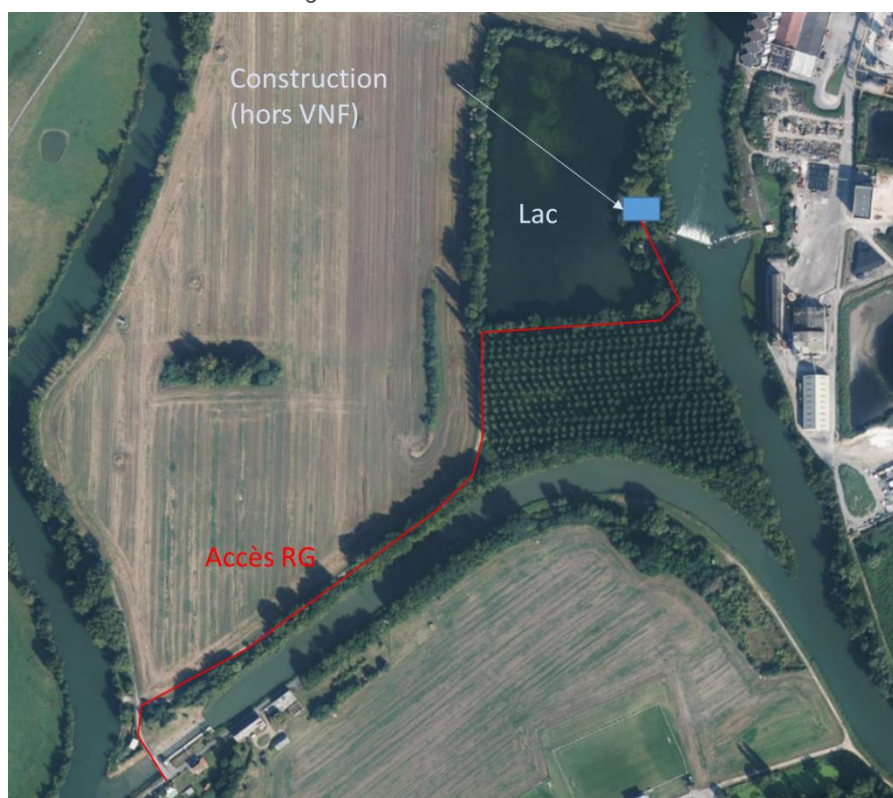
2 ESTIMATION DU POTENTIEL HYDROELECTRIQUE

2.1 CONFIGURATION DU SITE

Le site du barrage présente, indépendamment des éléments cadastraux :

- sur la rive droite :
 - de nombreux bâtiments hors VNF ;
 - un rideau de soutènement en palplanches ;
 Cette rive est donc peu propice à l'implantation d'une microcentrale, ou nécessiterait d'importants travaux de démolition.
- sur la rive gauche :
 - un l'accès limitée par le pont situé à l'écluse VNF (*la capacité en tonnes reste à définir selon les données VNF*)
 - une berge constituée de talus facilement modifiable ;
 - une maison (hors foncier VNF) et un lac borde la rivière (parcelle 0060).

Figure 1 : détail des éléments RG



Il apparaît également que, compte tenu de la présence du barrage de Vauxrot à l'aval (RN à 39.5 mNGF), aucun gain significatif de chute ne soit envisageable via l'utilisation d'un ouvrage de dérivation et d'un tronçon court circuité.



Nous proposons de vérifier dans les chapitres suivants la pertinence d'une implantation de microcentrale à proximité du barrage. A noter que de très légers gains de chute seraient escomptables à l'écluse, sans toutefois être de nature à bouleverser les ordres de grandeur économiques.

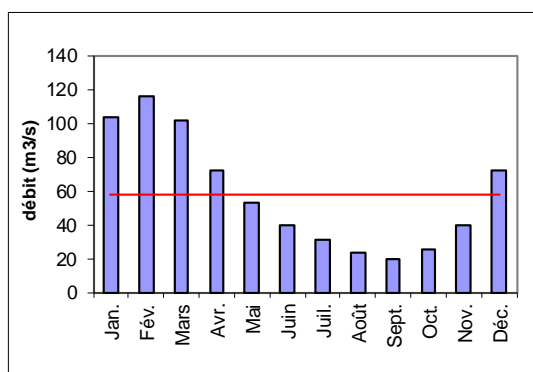
2.2 ELEMENTS HYDROLOGIQUES

Les débits caractéristiques de l'Aisne au droit du barrage de Villeneuve (BV=7 200 km²) ont été estimés à partir du traitement statistique des mesures de la station de Soissons (BV=7 359 km²). Cette station mise en service en 1999, est gérée par la DREAL Hauts-de-France (station N° H650 1020).

Figure 2 : extrait de la note d'appropriation, chapitre hydrologie

Débits caractéristiques de L'Aisne au droit du barrage de Villeneuve-ST Germain (BV= 7 200 km²)
(estimations réalisées à partir des observations de la station de Soissons (BV= 7 359 km²), chronique (1999-2023))

Débits moyens mensuels

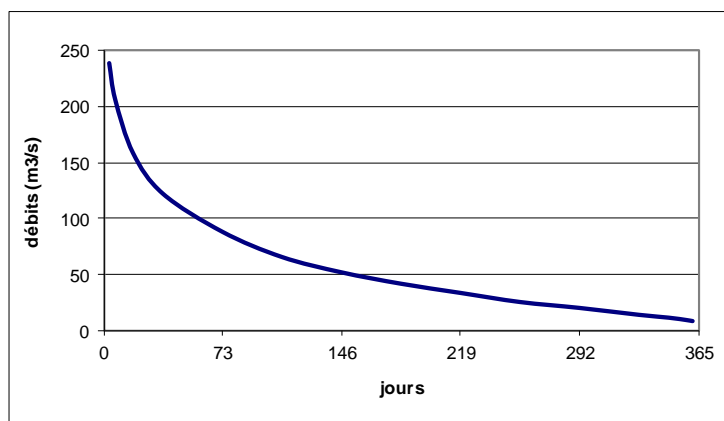


	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Débit (m3/s)	104	115	102	72	53	39	31	24	20	25	40	72	58

Débits d'étiage

	Quinquennale sèche	Biennale sèche
QMNA (m3/s)	11	16

Débits classés (m3/s)



Jours	3.65	7.31	18.3	36.5	73.1	110	146	183	219	256	292	329	347	358	362
Débit (m3/s)	239	206	158	122	88	66	52	42	34	26	20	14	12	9.4	8.5



2.3 ELEMENTS HYDRAULIQUES

2.3.1 Niveau aval

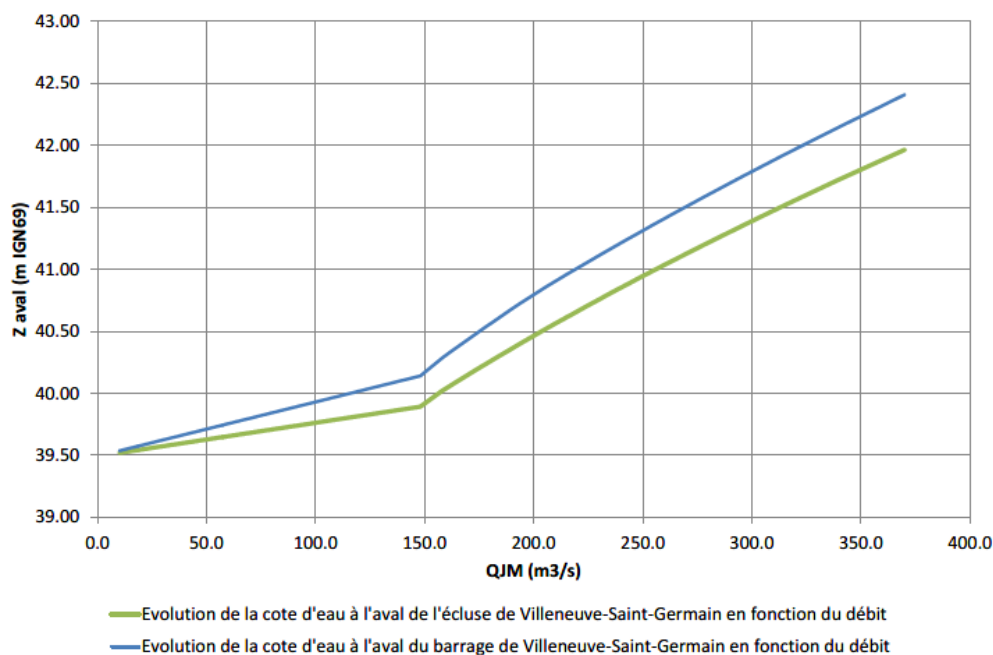
Le bief aval du barrage de Villeneuve - St Germain est contrôlé par le barrage Vauxrot qui a fait l'objet d'une reconstruction achevée en 2018.

Le niveau minimum en aval du barrage de Villeneuve - St Germain correspond à la cote de gestion du bief amont de l'ouvrage de Vauxrot soit une Retenue Normale (RN) de 39.50 m NGF (anciennement 39.45) avec une précision de +/- 15 cm.

Avec l'augmentation des débits de l'Aisne, le niveau d'eau en pied du barrage de Villeneuve – St Germain augmente progressivement pour retrouver la pente naturelle du bief soit environ 0.013 %.

La figure ci-dessous présente l'évolution théorique des niveaux d'eau en pied du barrage de Villeneuve – St Germain établie en 2014 par Artélia dans le cadre de l'étude préliminaire de la reconstruction du barrage.

Figure 3 : Evolution théorique des niveaux d'eau en fonction du débit en aval de l'écluse et du barrage de Villeneuve – St Germain



Source : Artélia

Dans l'hypothèse où une centrale hydroélectrique serait installée à l'aval du barrage elle serait soumise au niveau aval indiqué par la courbe bleue sur la figure précédente.

Nous relevons ainsi les principales valeurs suivantes :

Q rivière en m3/s	FE aval barrage en mNGF
122	40,07
88	39,85
66	39,73
52	39,67
42	39,63
34	39,60



26	39,57
20	39,55
14	39,53
12	39,52
9,4	39,52
8,5	39,51

2.3.2 Niveau amont

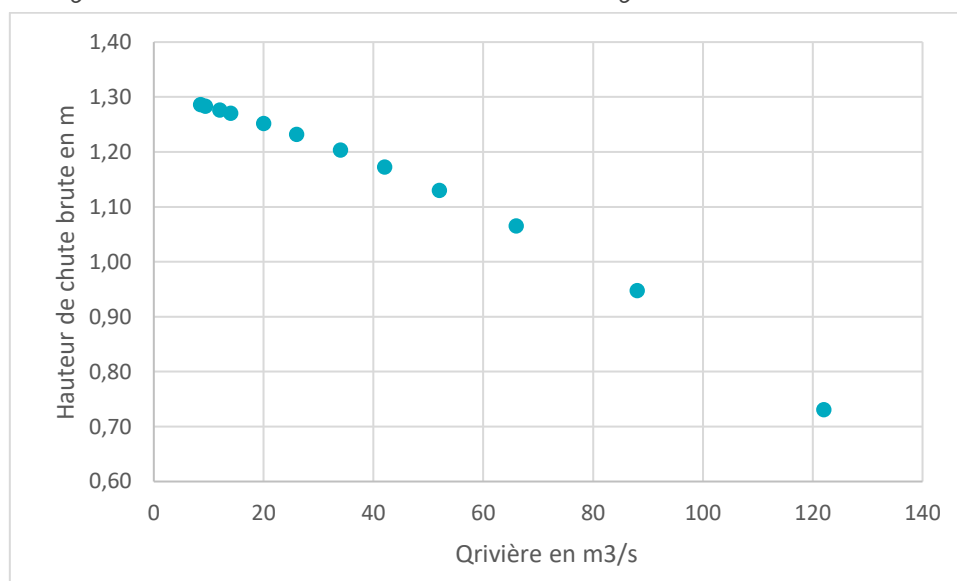
Le niveau amont est réglé à la cote 40.80 mNGF pour la plage de débits courants.

Nous observons que pour les débits supérieurs à 120 m³/s, la différence d'altitude entre les plans d'eau amont et aval est inférieure à 80cm. Cette chute étant considérée comme trop faible pour faire fonctionner correctement les turbines, nous considérons que la production hydroélectrique sera arrêtée. Les valeurs de niveaux aval, niveau amont et chute ne seront pas calculées au-delà de 120 m³/s.

2.3.3 Chute

Nous obtenons à partir des éléments précédents la chute brute en fonction du débit en rivière suivant :

Figure 4 : évolution de la chute brute au droit du barrage en fonction du débit rivière



2.4 DEFINITION ET SELECTION DES AMENAGEMENTS ENVISAGEABLES

On note d'ores et déjà que, compte tenu de la très faible chute disponible, il est difficile d'exploiter la totalité du débit théoriquement exploitable (voir précédemment).

En effet, les caractéristiques des équipements électromécaniques sont d'autant plus défavorables et coûteux pour un débit d'équipement donné que la chute est faible.



A titre d'illustration, nous fournissons le tableau du constructeur de la turbine pour très basse chute VLH, MJ2 technologies.

Figure 5 : illustration de l'impact de la chute sur le dimensionnement des équipements (source : MJ2)

Maximum discharge per unit in m³/s Débit maximum par groupe en m³/s							
Runner diameters in mm / Diamètres de roue en mm							
Hbrute	3150	3550	4000	4500	5000	5430	
1.5	8.3	10.5	13.4	16.9	20.9	24.6	1.4
1.6	8.6	10.9	13.8	17.5	21.6	25.4	1.5
1.7	8.8	11.2	14.2	18.0	22.2	26.2	1.6
1.8	9.1	11.5	14.6	18.5	22.9	27.0	1.7
1.9	9.3	11.9	15.0	19.0	23.5	27.7	1.8
2.0	9.6	12.2	15.4	19.5	24.1	28.4	1.9
2.1	9.8	12.5	15.8	20.0	24.7	29.2	2.0
2.2	10.0	12.8	16.2	20.5	25.3	29.8	2.1
2.3	10.3	13.0	16.6	21.0	25.9	30.5	2.2
2.4	10.5	13.3	16.9	21.4	26.4	31.2	2.3
2.5	10.7	13.6	17.3	21.8	27.0	31.8	2.4
2.6	10.9	13.9	17.6	22.3	27.5	32.4	2.5
2.7	11.1	14.1	17.9	22.7	28.0	33.1	2.6
2.8	11.3	14.4	18.3	23.1	28.5	33.7	2.7
2.9	11.5	14.6	18.6	23.5	29.0	34.3	2.8
3.0	11.7	14.9	18.9	23.9	29.5	34.8	2.9
3.1	11.9	15.1	19.2	24.3	30.0	35.0	2.9
3.2	12.1	15.4	19.5	24.7	30.5	35.0	3.0
3.3	12.3	15.6	19.8	25.1	31.0	35.0	3.1
3.4	12.5	15.9	20.1	25.5	31.5	35.0	3.2
3.5	12.7	16.1	20.4	25.8			3.3
3.6	12.8	16.3	20.7	26.2			3.4
3.7	13.0	16.5	21.0	26.6			3.5
3.8	13.2	16.8	21.3	26.9			3.6
3.9	13.4	17.0	21.6	27.3			3.7
4.0	13.5	17.2	21.8	27.6			3.8
4.1	13.7	17.4	22.1	28.0			3.9
4.2	13.9	17.6	22.4	28.3			4.0
4.3	14.0	17.8	22.6	28.6			4.1
4.4	14.2	18.0	22.9	29.0			4.2
4.5	14.4	18.2	23.2	29.3			4.3

Maximum electrical output per unit in kW (*) Puissance électrique maximum par groupe en kW (**)							
Runner diameters in mm / Diamètres de roue en mm							
Hbrute	3150	3550	4000	4500	5000	5430	
1.5	90	115	147	187	231	272	1.4
1.6	100	127	162	205	254	300	1.5
1.7	109	139	177	225	279	329	1.6
1.8	119	151	193	245	304	358	1.7
1.9	129	164	209	266	329	388	1.8
2.0	139	177	226	287	356	419	1.9
2.1	150	191	243	309	383	451	2.0
2.2	160	205	261	331	410	484	2.1
2.3	172	219	279	354	439	517	2.2
2.4	183	233	297	377	467	551	2.3
2.5	194	248	316	401	497	586	2.4
2.6	206	263	335	426	527	622	2.5
2.7	218	278	355	450	558	658	2.6
2.8	230	294	374	476	589	695	2.7
2.9	243	310	395	501	621	700	2.8
3.0	256	326	415	528	653	700	2.9
3.1	268	342	436	554	686	700	2.9
3.2	281	359	457	581	700	700	3.0
3.3	295	376	479	609	700	700	3.1
3.4	308	393	501	636	700	700	3.2
3.5	322	411	523	665			3.3
3.6	336	428	546	693			3.4
3.7	350	446	569	700			3.5
3.8	364	464	592	700			3.6
3.9	379	483	615	700			3.7
4.0	393	500	639	700			3.8
4.1	400	500	663	700			3.9
4.2	400	500	688	700			4.0
4.3	400	500	700	700			4.1
4.4	400	500	700	700			4.2
4.5	400	500	700	700			4.3

Not available / Non disponible
Reinforced structure / Structure renforcée

* Electrical output delivered at frequency converter terminal box
** Puissance électrique à la sortie du convertisseur

Contact us for more than 700 kW / Pour des puissances de plus de 700 kW nous contacter

Pour un même groupe de production, et donc un même génie civil, si la chute augmente de 25 % (par exemple de 2m à 2.5 m), la puissance électrique augmente de près de 40%. A coût identique, l'installation soumise à la plus grande chute aura donc une production largement supérieure. Cette généralité s'applique globalement à l'ensemble des types de turbines.

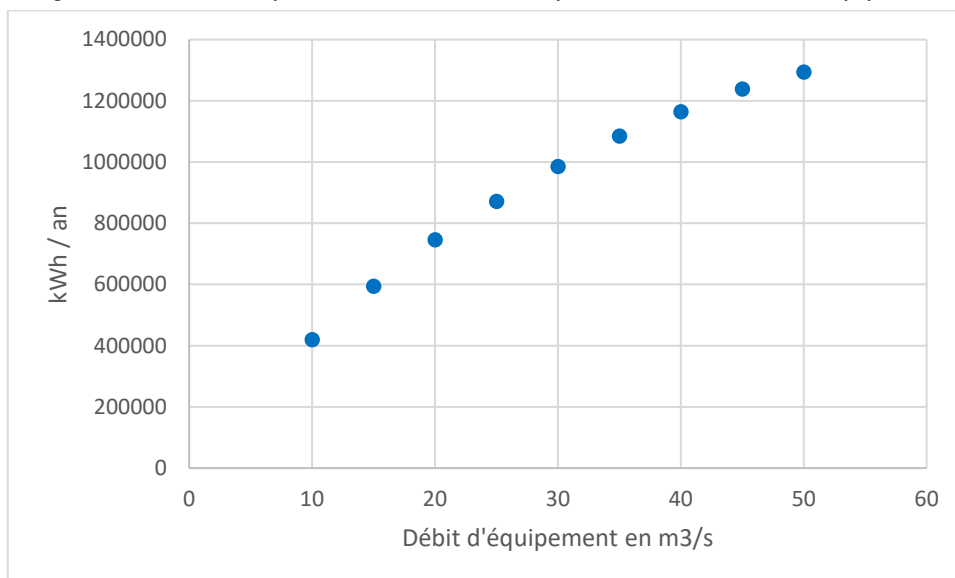
2.4.1 Discussion sur le débit d'équipement optimal

A partir des données récapitulées précédemment, nous établissons une modélisation de la production hydraulique théoriquement disponible sur le site en fonction du débit d'équipement.

NB : cette modélisation de productible théorique est réalisée pour un groupe de production dont le rendement serait constant et égal à 70%. Cette simulation est donc factice, le seul but étant de mettre en valeur l'évolution du productible en fonction du débit d'équipement retenu.



Figure 6 : évolution du productible maximal théorique en fonction du débit d'équipement



Ce graphique montre :

- Que le productible évolue de façon quasi-proportionnelle lorsque le débit d'équipement augmente jusqu'à 20/25 m³/s.
- Que plus le débit d'équipement augmente au-delà de 25 m³/s, plus le gain de productible est faible.

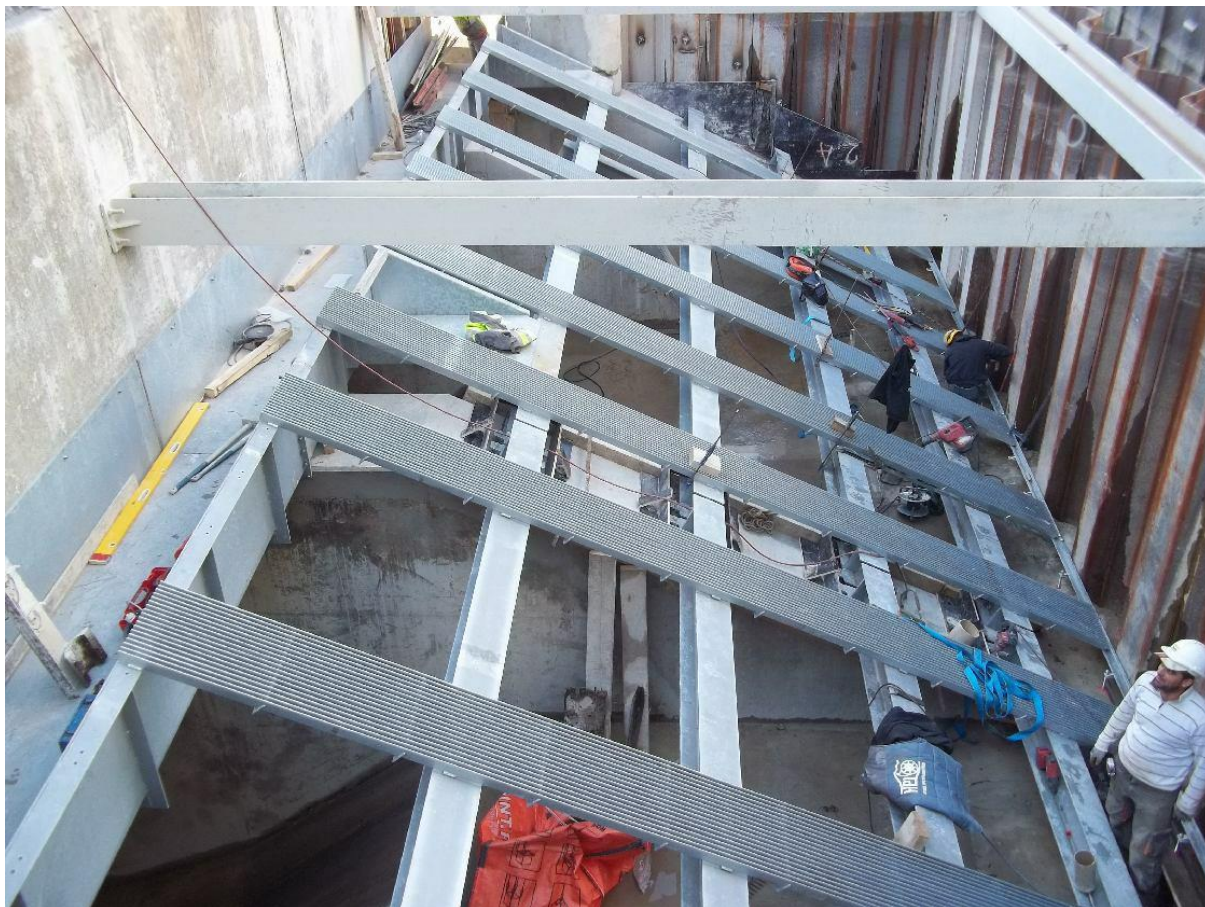
2.4.2 Discussion sur le type de turbine

2.4.2.1 Turbine ichtyo compatible ou prise d'eau ichtyo compatible

Compte tenu de la nature du site, toute microcentrale devra être ichtyo-compatible, c'est-à-dire proposer :

- Soit l'emploi d'une turbine préservant la vie aquatique (dite turbine ichtyo-compatible) ;
- Soit l'emploi d'une prise d'eau ichtyo-compatible excluant les espèces cibles (anguilles notamment). Une telle prise d'eau se caractérise par les éléments suivants :
 - Un débit de dévalaison égal à environ 5 % du débit turbiné
 - Un plan de grilles fines orienté ou incliné par rapport à l'écoulement, surmonté de déversoirs de dévalaison.

Figure 7 : exemple prise d'eau ichtyo compatible pour un débit turbiné de 35 m³/s environ



Nos récentes expériences ont montré des contraintes importantes sur les prises ichtyo-compatible :

- Coût de construction ;
- Encrassage très rapide ;
- Encombrement nécessaire ;
- Nécessité d'un grand débattement et d'un haut niveau de service pour le dégrilleur.

Ainsi, à ce stade des études, nous préconisons l'emploi de turbines ichtyo-compatible.

2.4.2.2 Technologie de turbine

A ce jour, il existe principalement 2 technologies de turbines ichtyo compatibles pour les sites de très basses chutes :

- Les turbines VLH, développées par MJ2 Technologies. Ce sont des groupes de production de type bulbe (l'alternateur est sous l'eau), à faible vitesse de rotation, basée sur une roue de type Kaplan à pales orientables.



Figure 8 : vue de deux VLH (centrale de Saint Jospeh, $2*25 \text{ m}^3/\text{s}$, Franc)



- Les vis hydrodynamiques, basées le principe de la vis d'Archimède, et proposées par différents constructeurs.

Figure 9 : vue d'une vis hydrodynamique (centrale de Graziac, $7 \text{ m}^3/\text{s}$, France)





Nous donnons ci-après un tableau comparatif entre les deux types de turbines :

Type	Forces	Faiblesses
VLH	<ul style="list-style-type: none">Grande débitance, jusqu'à 22 m³/s sous 1 m de chute netRendement maximal de l'ordre de 75%	<ul style="list-style-type: none">Cout de constructionComplexité techniqueProfondeur d'excavation potentiellement importante
Vis	<ul style="list-style-type: none">Simplicité de constructionPrix contenuTrès faible besoin d'excavation	<ul style="list-style-type: none">Débitance limitée (jusqu'à 13m³/s seulement)Rendement maximal de l'ordre de 70%

Dans le cas du site de Villeneuve Saint Germain, il pourrait ainsi être envisagé :

- 1 VLH 5430, qui génèrerait approximativement 160 kW maximum pour un productible annuel médian de 850 000 kWh (soit 144 000 € de CA / annuel moyen).
- 2 vis de 13 m³/s unitaire, qui génèreraient en moyenne 180 kW et un productible médian annuel de 895 000 kWh (soit 151 000 € de CA / annuel moyen).

Le surplus de production annuel pour la solution vis est donc de l'ordre de 45 000 kWh, soit environ 7 000 €/an.

A noter que d'après nos récentes évaluations, les projets à 2 vis sont globalement plus économiques que les projets mettant en jeu, pour la gamme de débit présentement considérée, des VLH.

Par conséquent, nous considérons pour la suite de la présente note une solution de PCH à 2 vis hydrodynamiques.

2.5 SOLUTION RETENUE

2.5.1 Description

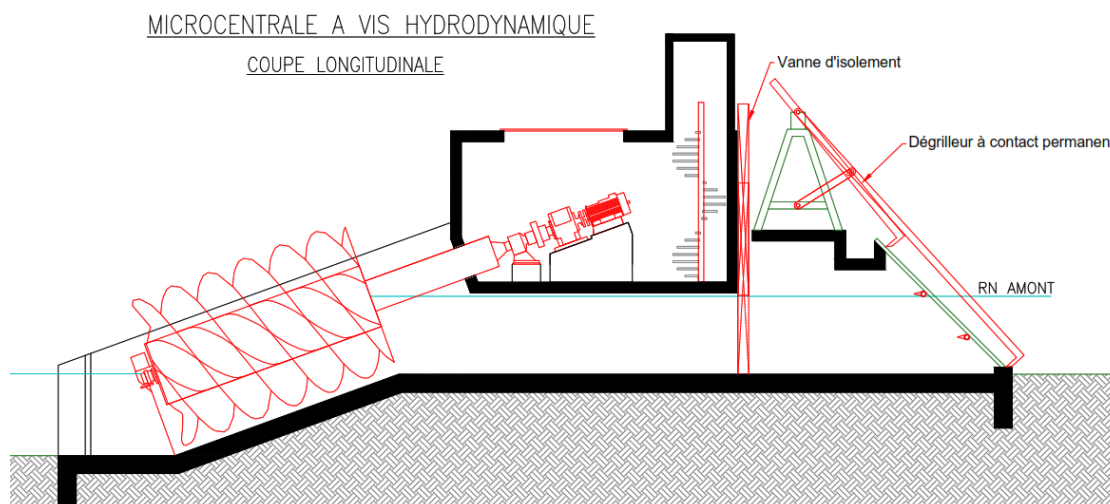
La solution retenue reposerait sur les éléments suivants :

- Un canal d'amenée, d'une section hydraulique moyenne de 35m², et d'une longueur d'environ 50m linéaires ;
- Une microcentrale comportant
 - 2 plans de grilles à grand entrefer (10 cm approx) ;
 - Un canal de défeuillage permettant l'évacuation des embâcles ainsi que 2 dégrilleurs fixes ;
 - 2 vannes d'isolement des groupes ;
 - 2 groupes de productions de type vis hydrodynamiques de diamètre unitaire 4400 mm, avec multiplicateur de vitesse et générateur asynchrone, joint d'eau au niveau du bâtiment ;
 - Une salle des machines cuvelée jusqu'à PHEC, équipée d'un accès pour le personnel et d'une trappe pour accès lourd.
- Un canal de fuite, d'une section hydraulique moyenne de 35m², et d'une longueur d'environ 40m linéaires ;

La figure suivante propose une coupe de principe de l'installation projetée.



Figure 10 : coupe de principe microcentrale à vis hydrodynamique



2.5.2 Pré-évaluation des CAPEX

Nous avons procédé à la décomposition des principaux postes d'investissement suivants :

PRIX DIRECTS	
Installation chantier (10%)	263000
Terrassement canaux et protection*	560000
Microcentrale - enceinte travaux + terrassement	335000
Microcentrale - GC et bâtiment	489000
Microcentrale - Turbine	660000
Microcentrale - Vannes, grilles, dégrilleurs, drome, etc	383000
Microcentrale - électricité de puissance (sans poste HTA) et automatismes	175000
Provision raccordement ENEDIS**	25000
Total PRIX DIRECTS	2 890 000

* hypothèse canaux talutés, terrassement matériaux meubles avec régalaage de déblais localement, protection en enrochements libres.

** enceinte palplanche et bouchon béton

** : provision estimée pour un raccordement BT, à valider avec le gestionnaire du réseau ;

Nous donnons par ailleurs une évaluation des coûts indirects :

PRX INDIRECTS	
Aleas et non métrés (30%)	788000
Etudes et MOE (8%)	210000
TOTAL PRIX INDIRECTS	998 000

Le montant des CAPEX est ainsi estimé à 3.9 M€.

3 CONCLUSION

D'un point de vue technique, le site VNF de Villeneuve Saint Germain, sur l'Aisne, présente une très faible chute et, est par conséquent, très défavorable à la production hydroélectrique.

L'implantation d'une microcentrale en rive droite ne semble pas réaliste vis-à-vis du bâti existant (installation industrielle, rideau de palplanches). La rive gauche présente à minima des contraintes foncières fortes, mais peu de construction (seulement une maison hors foncier VNF).

D'un point de vue économique, la microcentrale projetée présente un bilan médiocre. En effet, sans même intégrer les OPEX ou les coûts fonciers, le temps de retour sur investissement de l'aménagement envisagé est de l'ordre de :

$$\text{Temps de retour sur } I = \frac{CAPEX}{CA} \Leftrightarrow \frac{3\,900\,000}{151\,000} = 26 \text{ ans}$$

Compte tenu de la durée des contrats d'obligation d'achat (20 ans), le projet de microcentrale envisagé ne présente aucune logique économique.

Ainsi, il apparaît malgré les simplifications proposées dans la présente note, que le site de Villeneuve Saint Germain ne présente pas un potentiel hydroélectrique mobilisable dans les conditions économiques actuelles.





www.brl.fr/brli

Société anonyme au capital de 3 183 349 euros
SIRET : 391 484 862 000 19 - RCS : NÎMES B 391 484 862
N° de TVA intracom : FR 35 391 484 862 000 19

BRL
Ingénierie

1105, avenue Pierre Mendès-France
BP 94001 - 30 001 Nîmes Cedex 5
FRANCE
Tél. : +33 (0) 4 66 84 81 11
Fax : +33 (0) 4 66 87 51 09
e-mail : brli@brl.fr