



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

Mission n°2 : Complément d'études préliminaires

Étude préliminaire du local commande



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

Date du document	18-04-2023
Contact	Julien VANWARREGHEM

Titre du document	AMO POUR LE PROJET DE RECONSTRUCTION DU BARRAGE DE VILLENEUVE SAINT GERMAIN Mission n°2 : Complément d'études préliminaires Étude préliminaire du local commande
Référence du document :	A01170-AMO VSG- Mission 2-EP local commande_B.docx
Indice :	B

Date émission	Indice	Observation	Dressé par	Vérifié et Validé par
03/05/2023	A	Première émission	LBI / LBA	JVA
22/06/2023	B	Reprise suite remarques VNF	LBI / LBA	JVA

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

Mission n°2 : Complément d'études préliminaires

Étude préliminaire du local commande

1	CONTEXTE ET OBJET DU RAPPORT	5
2	RAPPELS DES DONNÉES D'ENTRÉE	6
2.1	SOLUTIONS TECHNIQUES DE BARRAGE ENVISAGEES	6
2.2	IMPLANTATION DU NOUVEAU BARRAGE	6
2.3	ANALYSE MULTICRITERE CLAPET/BGE.....	6
3	SOLUTION BARRAGE GONFLABLE À EAU (BGE).....	7
3.1	RAPPEL DU FONCTIONNEMENT DU BARRAGE GONFLABLE	7
3.2	GEOMETRIE DU LOCAL COMMANDE.....	9
3.2.1	Généralités	9
3.2.1.1	Étage inférieur	9
3.2.1.2	Étage supérieur	10
3.2.2	Génie civil du local commande	11
3.2.3	Second œuvre	11
3.2.4	Accès à la passe à poissons	12
3.3	STABILITE DU LOCAL ET TYPOLOGIE DE FONDATIONS.....	12
3.3.1	Rappel des données géotechniques	12
3.3.1.1	Documents de référence	12
3.3.1.2	Lithologie au droit du local commande	12
3.3.1.3	Modèle géotechnique au droit du local commande	13
3.3.2	Stabilité du bâtiment de commande.....	13
3.3.2.1	Principe de vérification.....	13
3.3.2.2	Modélisation du local	15
3.3.2.3	Résultats des calculs de stabilité	15
3.3.2.4	Dimensionnement des fondations profondes.....	15
3.3.2.5	Stabilité au grand glissement	16
3.3.3	Érosion régressive	17
3.4	ORGANES DE MANŒUVRE ET DE REGULATION DU BARRAGE.....	17
3.4.1	Colonnes de régulation	18
3.4.2	Pompes de gonflage	18
3.4.3	Pompes de vidanges	18
3.5	CONDITIONS D'ACCES	18
3.6	ESTIMATION FINANCIERE	20
4	SOLUTION BARRAGE À CLAPETS.....	21

5	RISQUES GÉOTECHNIQUES ET BESOINS D'INVESTIGATIONS COMPLÉMENTAIRES.....	22
5.1	RISQUES GEOTECHNIQUES.....	22
5.2	BESOINS COMPLEMENTAIRES	23

TABLE DES ILLUSTRATIONS

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Principe constructif d'un barrage gonflable à l'eau – Extrait du Guide des barrages gonflables VNF	©
BRLingénierie	8
Figure 1 : Exemple de local de commande d'un BGE (2 passes) – Etage inférieur	10
Figure 1 : Exemple de local de commande d'un BGE (2 passes) – Etage supérieur	11
Figure 1 : Représentation schématique de la géométrie du local commande.	15
Figure 2 : Vue en plan de l'implantation des micropieux.	16
Figure 3 : Dimensions du terreplein en rive droite.	17
Figure 4 : Principe d'insertion du local en berges.....	19
Figure 5 : Principe d'accès à l'étage supérieur du local commande.....	19

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Modèle géotechnique au droit du local technique.....	13
Tableau 2 : Estimation financière du local commande.	20



1 CONTEXTE ET OBJET DU RAPPORT

Voies Navigables de France (VNF) 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 VNF 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 l'étude de niveau préliminaire du local commande.



2 RAPPELS DES DONNEES D'ENTREE

2.1 SOLUTIONS TECHNIQUES DE BARRAGE ENVISAGEES

Pour rappel, il ressort des études préliminaires menées par ARTELIA trois sous-scénarios de reconstruction :

- Scénario 3A : **Solution clapet**
- Scénario 3B : **Solution BGVM**
- Scénario 3C : **Solution BGE**

Les choix techniques ayant conduit à ces 3 scénarios ont été détaillés dans le cadre de l'étude préliminaire et sont cohérents. La mission 1 d'appropriation et de contrôle des études préliminaires a toutefois conduit à écarter la solution BGVM pour des mesures d'uniformisation sur les voies navigables et compte tenu du faible retour d'expérience fait en France sur cette technologie.

Les éléments techniques relatifs à chacune des solutions de barrage proposées y ont été décrites (nombre de passes, organes et mécanismes de manœuvre, batardeaux de maintenance, génie civil des passes, confortement des berges, passerelle technique,

2.2 IMPLANTATION DU NOUVEAU BARRAGE

Les études précédentes, complétées de levés bathymétriques réalisés en 2022, ont conduit à considérer qu'une implantation à environs **25 m à l'amont** du barrage existant était la meilleure solution envisageable compte tenu des contraintes suivantes :

- La présence d'une **fosse d'affouillement** importante à l'aval immédiat ;
- L'absence de **disponibilité foncière** de VNF à l'aval où le lit mineur retrouve une section constante ;
- Le **rétrécissement** important du lit mineur à l'amont ;
- L'abaissement du fond du lit mineur à 50 m à l'amont ;
- La **présence d'enrochements** de blocométrie 80/100 sur une bande de 10 m à l'amont.

2.3 ANALYSE MULTICRITERE CLAPET/BGE

L'analyse technique et financière a fait l'objet d'une analyse critique de laquelle il est ressorti :

- Une analyse technique pas toujours à jour notamment sur le BGE dont les performances hydrauliques étaient sous-évaluées.
- Une analyse financière à revoir sur plusieurs aspects : réactualisation des prix, vantellerie du Clapet sous-évaluée, BGE surévalué pour la bouchure et sous-évalué pour le local technique.
- L'importance de préciser les aspects géotechniques compte tenu du contexte de la rive droite et notamment pour l'implantation du local technique du BGE au droit du barrage.

Ainsi il apparaît nécessaire de pousser les réflexions sur l'implantation du local technique notamment pour le barrage gonflable à l'eau.



3 SOLUTION BARRAGE GONFLABLE A EAU (BGE)

3.1 RAPPEL DU FONCTIONNEMENT DU BARRAGE GONFLABLE

Le barrage gonflable se compose d'une membrane formant une boudruche, qui est ancrée sur un radier en béton au fond du cours d'eau. Cette boudruche est gonflée au moyen d'eau dans le but d'assurer le maintien ou la régulation d'un plan d'eau.

Le gonflage à l'eau se base sur le principe des vases communicants. Le principe de fonctionnement peut varier d'un fournisseur à l'autre, notamment au niveau du local technique. Le cas courant est composé d'un premier puits qui permet de collecter l'eau de la rivière. Un pompage permet de rehausser le niveau d'une seconde colonne d'eau qui est en relation avec la membrane au moyen d'une conduite d'amenée qui entraîne son remplissage. La hauteur d'eau dans cette colonne est de l'ordre de 1,6 fois plus élevée que la hauteur utile de la boudruche.

La vidange fonctionne de la même manière avec la mise en communication de la membrane avec une troisième colonne dont le niveau peut être contrôlé au moyen d'une vanne. Une quatrième colonne d'eau permet la vidange complète de la membrane. Celle-ci est engagée gravitairement dès lors que la vanne de vidange est ouverte et qu'il existe une différence de charge entre l'amont et l'aval du barrage.

Ce système comporte autant de colonnes de remplissage (seconde colonne) et de régulation (troisième colonne) que de passes, lorsqu'il est nécessaire de les manœuvrer de manière indépendante.

Le local technique en rive est d'un gabarit important : sa profondeur doit atteindre un niveau inférieur à celui du radier du barrage.

Les conduites utilisées pour le gonflage sont de l'ordre de 100 à 300mm et sont constituées en PVC ou PEHD.

Afin de récupérer l'air qui serait présent dans le circuit, la bouchure est généralement équipée de systèmes de purges aux points hauts de la membrane.

La forme de la membrane gonflée à l'eau est ovalisée en raison du poids plus important de l'eau qui s'équilibre avec la poussée d'eau à l'amont.

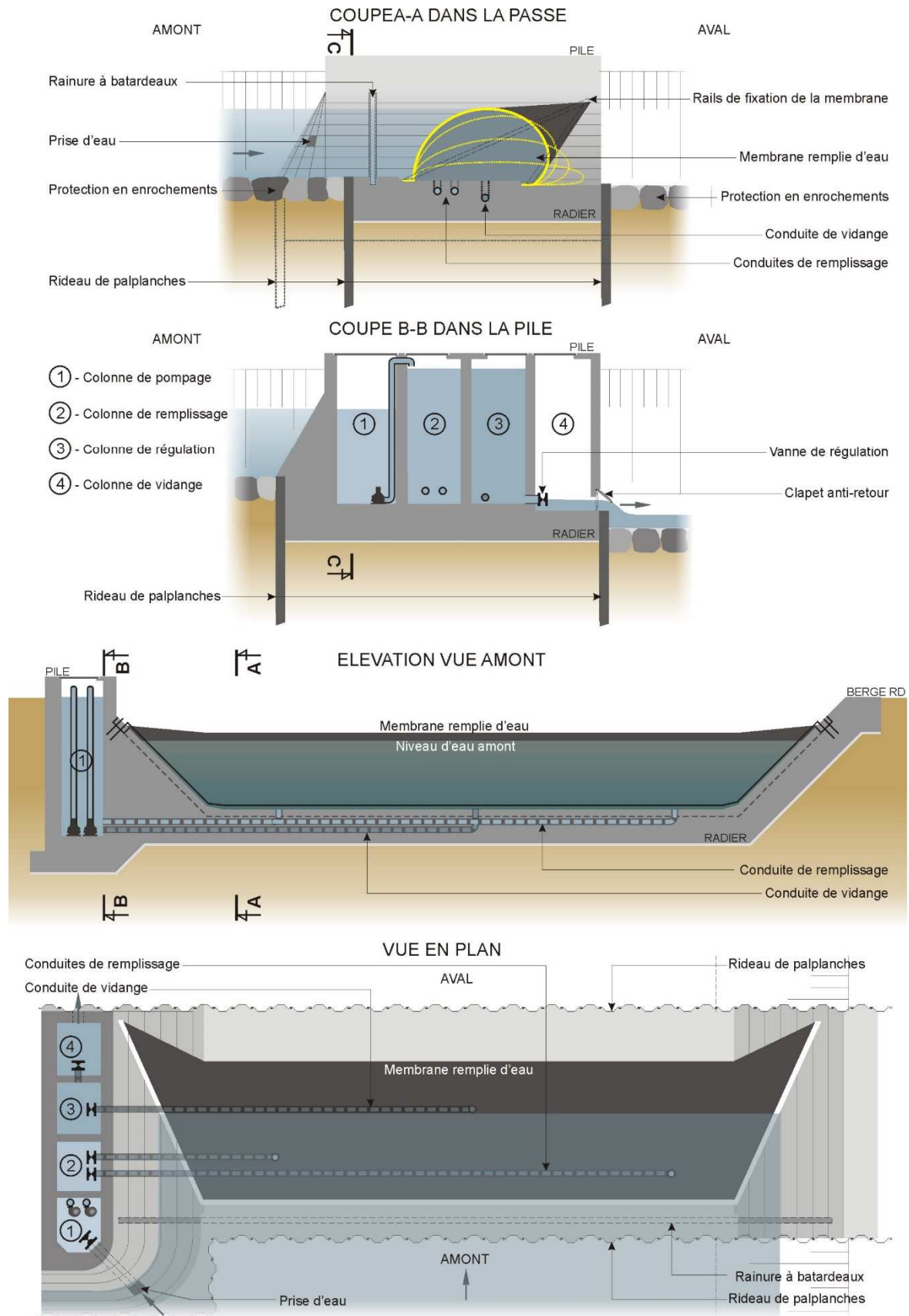


Figure 1 : Principe constructif d'un barrage gonflable à l'eau – Extrait du Guide des barrages gonflables VNF
© BRLingénierie

3.2 GEOMETRIE DU LOCAL COMMANDE

3.2.1 Généralités

Les organes de commande et de régulation de l'ouvrage sont centralisés dans le bâtiment de commande du barrage. Aucun organe de manœuvre n'est implanté sur pile, ce qui facilite grandement l'exploitation et la maintenance de l'ouvrage, et réduit le risque d'embâcles.

Ce bâtiment se présente sous la forme d'un bâtiment R+1 de forme rectangulaire dont le radier est calé légèrement plus bas que celui du barrage.

3.2.1.1 Implantation du local

L'implantation du local commande est représentée sur la vue en plan suivante (encadré rouge en RD) :

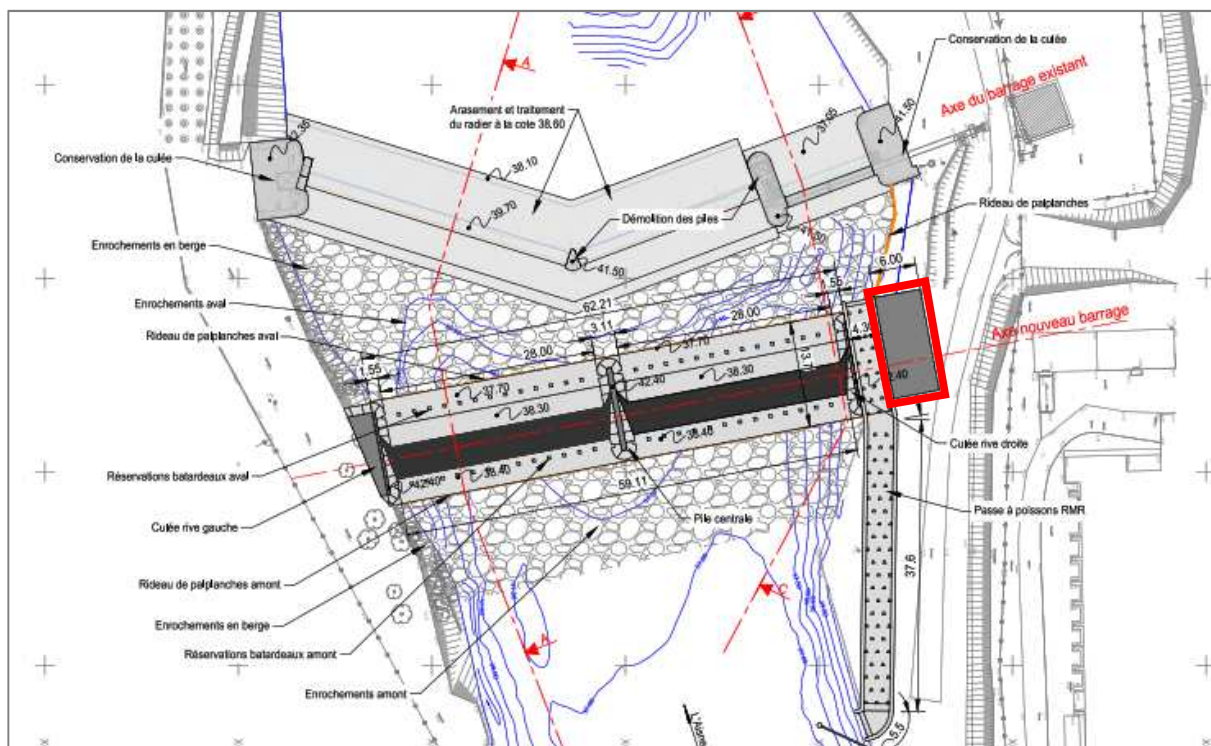


Figure 2 : Implantation du local commande en RD (source : EP Artelia)

3.2.1.2 Étage inférieur

L'étage inférieur du bâtiment accueille tous les éléments de l'hydraulique nécessaire au fonctionnement du barrage, à savoir :

- Le compartiment de prise amont qui est en lien direct avec la rivière ;
- Le local des équipements accueillant les pompes d'alimentation des colonnes de régulation, les départs et les retours de l'ensemble des conduites vers les bouchures ;
- Les colonnes de remplissage et de régulation – à raison d'une colonne par passe indépendante – qui sont reliées à la colonne de prise en rivière par des tuyauteries équipées de pompes ;
- Le compartiment de vidange des bouchures qui trouve son exutoire à l'aval du barrage.

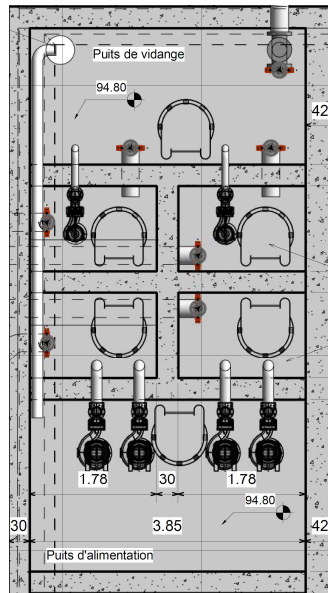


Figure 3 : Exemple de local de commande d'un BGE (2 passes) – Etage inférieur

3.2.1.3 Étage supérieur

L'étage supérieur du bâtiment de commande accueille l'ensemble des équipements électriques de puissance et de contrôle commande de l'ouvrage.

Cet étage est subdivisé en trois espaces et deux pièces :

- Une première pièce comprend :
 - Un espace central, le plus important en surface, qui accueille les armoires d'alimentation basse tension et de protection électrique, les armoires de contrôle-commande du barrage ainsi que l'ensemble des équipements de contrôle-commande. Un escalier hélicoïdal permet d'accéder à la salle de pompes située au niveau inférieur.
 - Un second espace, situé au-dessus du puits de vidange et des colonnes de régulation du barrage. Cet espace abrite d'une part les organes de manœuvre des colonnes de régulation et d'autre part les compresseurs d'alimentation de l'ensemble des vannes de vidange et de by-pass. Une trappe au sol étanche permet un accès aux colonnes de remplissage et de régulation. Elle est complétée par une trappe étanche qui permet les opérations de maintenance des pompes du puits de régulation situées au niveau inférieur.
- L'autre pièce constitue :
 - Un dernier local, ayant un accès indépendant, qui accueille le groupe électrogène de secours du système électrique de l'ensemble des installations. Dans ce local, une trappe au sol peut permettre un accès au niveau inférieur du puits d'alimentation.

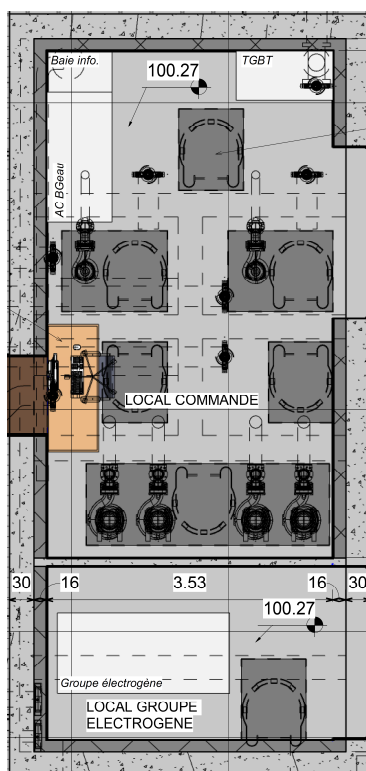


Figure 4 : Exemple de local de commande d'un BGE (2 passes) – Etage supérieur

3.2.2 Génie civil du local commande

Le bâtiment de commande a une emprise d'environ 9-10 m de longueur et de 5 m de largeur.

La cote du plancher du niveau supérieur est calée au-dessus de la cote PHEC (Plus Hautes Eaux Connues) garantissant ainsi la protection des équipements durant les épisodes de crue, et au-dessus du niveau d'eau de la colonne de remplissage pour garantir le remplissage maximale des bouchures, soit 45,30 mNGF. La cote supérieure du radier est calée pour le passage des conduites des bouchures gonflables, soit une cote de fond de fouille de l'ordre de 37 mNGF (hypothèse épaisseur radier : 30 cm).

Il s'ensuit que la hauteur du niveau inférieur du bâtiment de commande est de l'ordre de 8 m. Celle du niveau supérieure est souvent prise égale à 2,5 m.

Concernant l'étage inférieur, il est divisé en plusieurs compartiments et peut comprendre selon les fournisseurs : un compartiment de prise amont, un compartiment technique au sec pour accéder aux équipements, un compartiment de régulation et vidange des bouchures, comme décrit au paragraphe précédent.

Concernant l'étage supérieur, il est souvent divisé en 2 pièces que sont le local de commande et le local du groupe électrogène.

3.2.3 Second œuvre

La partie supérieure du local technique aura une emprise au sol de l'ordre de 5 x 10 m et sera réalisée en béton armé. Au niveau de son plancher fonctionnel à la cote altimétrique de 45,30 mNGF, il présentera une surface utile de l'ordre de 50 m² et accueillera deux espaces distincts :

- Le local du Groupe Électrogène de Secours ;
- Le local électrique permettant d'accéder au niveau inférieur.



La partie local électrique du bâtiment de commande sera isolée thermiquement grâce à un doublage intérieur des parois verticales et à la pose de panneaux isolants sur les dalles.

Les dimensions du local, le dessin de ces baies ainsi que de sa toiture prendront en compte le contexte de son implantation et du site environnant.

3.2.4 Accès à la passe à poissons

L'accès à la passe à poissons se fera depuis les berges attenantes au local technique au moyen d'escaliers permettant de descendre au droit de la passe à poissons coté amont et/ou coté aval.

3.3 STABILITE DU LOCAL ET TYPOLOGIE DE FONDATIONS

3.3.1 Rappel des données géotechniques

3.3.1.1 Documents de référence

Les données géotechniques considérées dans le présent document sont issues de l'étude réalisée par Hydrogéotechnique en 2013, dont la référence est la suivante :

- *Rapport d'étude géotechnique, mission G11-G12, dans le cadre des études préalables à la reconstruction du barrage de Villeneuve Saint Germain, Hydrogéotechnique Nord et Ouest, dossier n°C.12.30.260, 22/11/2013.*

Est également intégrée l'étude hydrogéologique du champ captant de Villeneuve-Saint-Germain réalisée par le BRGM en 1993 et menée dans l'environnement immédiat du barrage:

- *Étude hydrogéologique qualitative et quantitative du champ captant de Villeneuve-Saint-Germain, Syndicat d'étude pour l'alimentation en eau potable (SEAEP de Crouy-Soissons-Villeneuve-Saint-Germain, B.R.G.M., dossier R 36 962 PIC 4S 93, 03/1993).*

Ces données ont été analysées par ARTELIA dans le cadre de le l'étude préliminaire et ont fait l'objet d'une appropriation et d'un contrôle externe par BRL Ingénierie en avril 2023 au sein de la mission 1 du de la présente mission d'AMO. L'ensemble du contenu de la campagne, des lithologies rencontrées, des résultats des essais et des propriétés et hypothèses géomécaniques y sont décrites.

3.3.1.2 Lithologie au droit du local commande

Au droit du futur local technique, le sondage carotté SC1 couplé au sondage pressiométrique SP1 mettent en évidence la présence, de haut en bas :

- Une couche de matériaux très hétérogènes pouvant correspondre tout ou en partie à des **remblais (couche 0)** composée de sable, cailloutis, cailloux, blocs, argiles +/- sableuses à sables +/- argileux, béton, ferraille et bois, rencontrée jusqu'à 2,10 m de profondeur, soit jusqu'à la cote 40,00 mNGF. L'essai pressiométrique sur ce sondage est inexploitable et ne permet pas de caractériser la compacité de la couche 0. Les sondages pressiométriques voisins font état d'une couche à compacité très faible à modeste ($E_m = 1,1 - 3,4$ MPa ; $pl^* = 0,10 - 0,34$ MPa) ;
- Une couche d'**alluvions modernes (couche 1)** constituée d'argiles +/- sableuses à sables +/- argileux et caillouteux, de 2,10 à 4,80 m de profondeur, soit de la cote 40,00 à 37,30 m NGF. La compacité de cette couche est modeste ($E_m = 2,5 - 2,8$ MPa ; $pl^* = 0,25 - 0,27$ MPa) ;
- Une couche d'**alluvions anciennes (couche 2)** composée de sables et graviers, rencontrée de 4,80 à 7,05 m de profondeur, soit de la cote 37,30 à 35,05 mNGF. La compacité de cette couche est moyenne ($E_m = 9,1$ MPa ; $pl^* = 0,90$ MPa) ;



- Une **couche de sables très légèrement argileux (couche 3)** à partir de 7,05 m de profondeur, soit en-deçà de la cote 35,05 mNGF. La compacité de cette couche est bonne à très bonnes ($E_m = 50 \text{ MPa}$; $p_l^* > 5 \text{ MPa}$).

Les reconnaissances géotechniques ne mettent pas en évidence de substratum rocheux dans les 15 premiers mètres, ce qui écarte la possibilité d'un ancrage au sein d'une couche rocheuse pour assurer un collage du radier et optimiser le frottement à interface sol/béton.

La sous-face inférieure du radier du local commande est prévue au sein de la couche d'alluvions (37,10 mNGF), à proximité immédiate de l'interface entre les alluvions modernes et anciennes (changement de lithologie aux alentours de la cote 37,30 mNGF d'après SC1).

3.3.1.3 Modèle géotechnique au droit du local commande

Pour rappel, il ressort de l'analyse critique de la complétude des études géotechniques menée dans la mission 1 :

- l'absence d'essais de laboratoire sur SC1 et donc une incertitude sur les caractéristiques mécaniques des matériaux constitutifs de la berge en rive droite au droit du futur local commande ;
- une incertitude sur la présence ou non d'un contre-rideau tirant au niveau du terre-plein rive droite telle que supposée dans la note d'appropriation. La présence d'un ouvrage de ce type pourrait impacter le phasage de réalisation du local technique en rive droite à l'amont du barrage existant.
- une incertitude quant aux caractéristiques mécaniques de la couche 3 (issu à l'heure actuelle de 2 essais de cisaillement à la boîte) ;

Sur la base des essais pressiométriques au droit du SP1 et des essais de laboratoire réalisés sur les sondages voisins, il est retenu le modèle géotechnique suivant :

N°	Lithologie	Cote toit [mNGF]	Cote base [mNGF]	E_m [MPa]	p_l^* [MPa]	c' [kPa]	ϕ' [°]	γ_d [kN/m ³]	γ_h [kN/m ³]
C0	Remblais	TN	40,00	1,1	0,10	0	26,0	14,5	19,0
C1	Alluvions modernes	40,00	37,30	2,5	0,25	0	25,0	17,0	20,0
C2	Alluvions anciennes	37,30	35,05	9,1	0,90	0	31,2	16,0	20,0
C3	Sables	35,05	< 27,10	50,0	> 5,00	0	28,4	16,0	20,0

Tableau 1 : Modèle géotechnique au droit du local technique.

3.3.2 Stabilité du bâtiment de commande

3.3.2.1 Principe de vérification

Si la faible descente de charge du bâtiment de commande n'engendrera aucune augmentation de contraintes au niveau de ses fondations par rapport à celles apportées actuellement par le terrain en place excavé, en revanche, eu égard à sa profondeur importante, l'ouvrage sera soumis à des efforts de sous-pressions substantiels engendrant un risque de soulèvement, de glissement et de renversement.

Une vérification de la stabilité externe du local a été menée. La section a été vérifiée selon les conditions de stabilité suivantes :

1. Justification de la stabilité vis-à-vis de la sous pression (ELU UPL soulèvement) :



Principe de calculs :

- a) Calcul des efforts pesants : poids de l'eau, du béton ;
- b) Calcul des sous-pressions en sous face du radier ;
- c) Calcul des forces de frottements ;
- d) Bilan des charges ;

2. Justification de la stabilité vis-à-vis du glissement plan, sens rive à rive (ELU GEO glissement) :

Principe de calculs :

- a) Calcul des efforts pesants : poids de l'eau, du béton et des terres déjaugées ;
- b) Calcul des forces de poussée/butée : poussée de l'eau et des terres amont/aval ;
- c) Bilan des charges ;

3. Justification du non renversement, sens rive à rive (ELU/ELS GEO limitation de l'excentrement) :

Deux cas seront vérifiés :

- Phase travaux ;
- Phase batardage en exploitation.

Principe de calculs :

- a) Bilan des charges ;
- b) Calcul de l'excentricité = $\Sigma \text{ force verticale} / \Sigma \text{ Moments}$ par rapport au point de renversement ;
- c) Vérification du pourcentage de semelle comprimée à l'ELU (GEO), l'ELS caractéristique et à l'ELS QP ;
- d) Prise en compte de l'effort de frottement si nécessaire.

4. Justification du non poinçonnement du sol de fondation (ELS GEO limitation de la charge transmise à la fondation).

5. Vérification de la non érosion sous les fondations et du contournement par les berges (critère de Lane) :

La règle de Lane s'écrit :

$$L_v + \frac{1}{3} L_h \geq cH$$

- H = charge hydrostatique totale
- L_v = somme des longueurs de cheminement vertical
- L_h = somme des longueurs de cheminement horizontal

(Le coefficient 1/3 tient compte du fait que la perméabilité des alluvions est plus forte horizontalement que verticalement).

- c = coefficient dépendant de la nature du sol.

Nota : Compte tenu de la géométrie de l'ouvrage et sur la base des justifications précédentes, le non-renversement et le glissement dans le sens amont/aval sont tacitement vérifiés.

3.3.2.2 Modélisation du local

Les vérifications de stabilité ont été menées sur la base de la représentation schématique suivante :

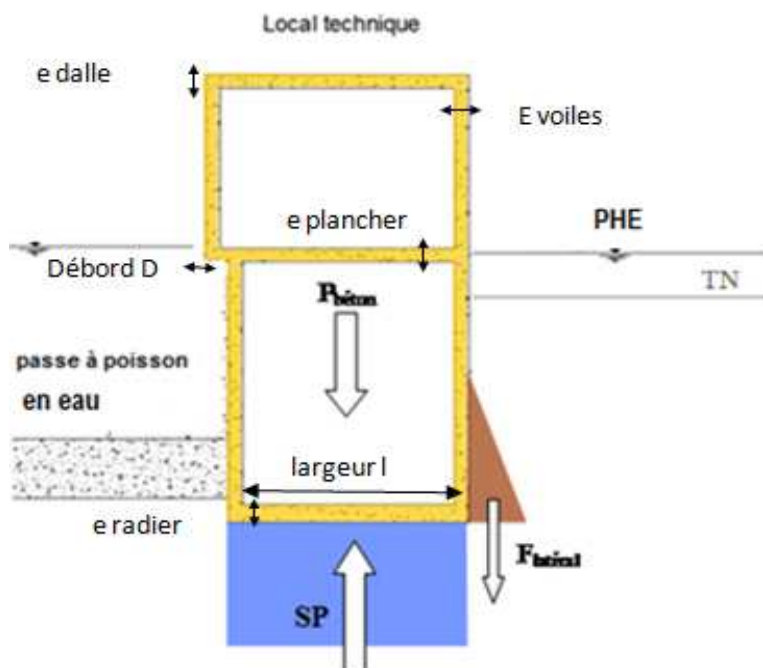


Figure 5 : Représentation schématique de la géométrie du local commande.

3.3.2.3 Résultats des calculs de stabilité

Les calculs menés ont montré que la stabilité du local technique tel que modélisé ci-avant n'était pas assurée au glissement et au renversement.

Les coefficients de sécurité obtenus sont les suivants :

- Soulèvement : **1,10**
- Glissement : **0,80**
- Renversement : **0,30**

Si la stabilité externe est assurée au soulèvement par le propre poids du local technique. La stabilité au glissement et au renversement nécessite en revanche la mise en place de micropieux.

La charge minimale à reprendre par les micropieux est calculée en considérant le local technique comme une fondation superficielle pour laquelle on vérifie la non décompression du sol sous la semelle aux combinaisons ELU GEO et ELS QP. On estime ensuite la charge verticale manquante que doit apporter le micropieu pour répondre à ces vérifications.

3.3.2.4 Dimensionnement des fondations profondes

Un calcul a été mené selon la norme NF P94-262 afin de dimensionner les micropieux. Ce dimensionnement est réalisé selon le principe suivant :

- a) Choix du type de pieux
- b) Calcul de l'effort total apporté par la structure par ml ;



- c) Calcul de l'effort du frottement latéral repris par un micropieu ;
- d) Vérification de la portance du pieu par rapport à la descente de charges ;
- e) Vérification de la tenue du pieu au cisaillement et flambement

En considérant des micropieux forés coulés de diamètres de forage 130 mm et de tube 100 mm, il est nécessaire de placer a minima 1 micropieu de 5 m de profondeur par ml de local. Il est retenu le calepinage suivant : 2 rangées de micropieux espacés de 2 m.

Aux vues des fortes raideurs de la couche 3 (sables), les calculs montrent que les valeurs critiques au flambement sont très supérieures aux valeurs mobilisées par les micropieux. Les critères de portance, de cônes d'influence et de cisaillement sont également vérifiés.

À noter que le dimensionnement des micropieux dépend fortement des conditions géotechniques réelles et du type de micropieux choisi par le constructeur. Des pieux de type injectés forés peuvent permettre d'avoir un coefficient de frottement sol pieux largement supérieur, et de réduire ainsi la profondeur nécessaire d'ancrage des pieux ou leur nombre. Conformément aux préconisations des Eurocodes, le dimensionnement des micropieux ne peut être validé que lors des essais en conditions réelles lors de la phase d'exécution.

La répartition générale est visible sur les coupes suivantes :

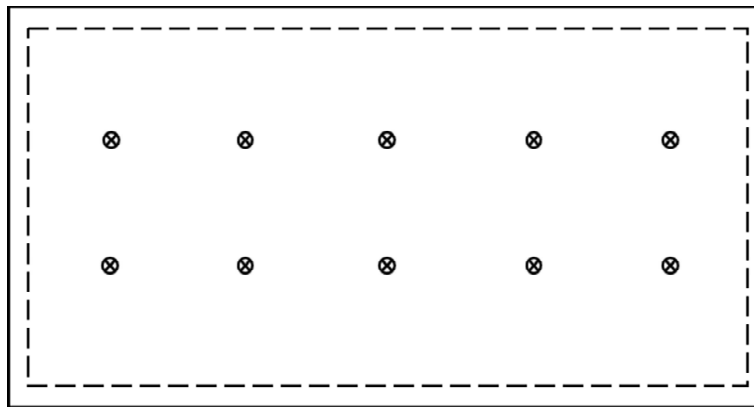


Figure 6 : Vue en plan de l'implantation des micropieux.

3.3.2.5 Stabilité au grand glissement

Pour permettre la réalisation du local commande, il est nécessaire de créer un talus provisoire en phase travaux du TN à 42 mNGF au fond de fouille à 37 mNGF. Compte tenu de la proximité du talus existant (faisant office de séparation de la berge avec l'usine voisine) et dans l'hypothèse de la création d'un talus provisoire à 3H/2V dans la continuité du talus existant, il sera nécessaire de mettre en œuvre un soutènement provisoire (type paroi berlinoise, clouée, palplanches, pieux sécants, etc.).

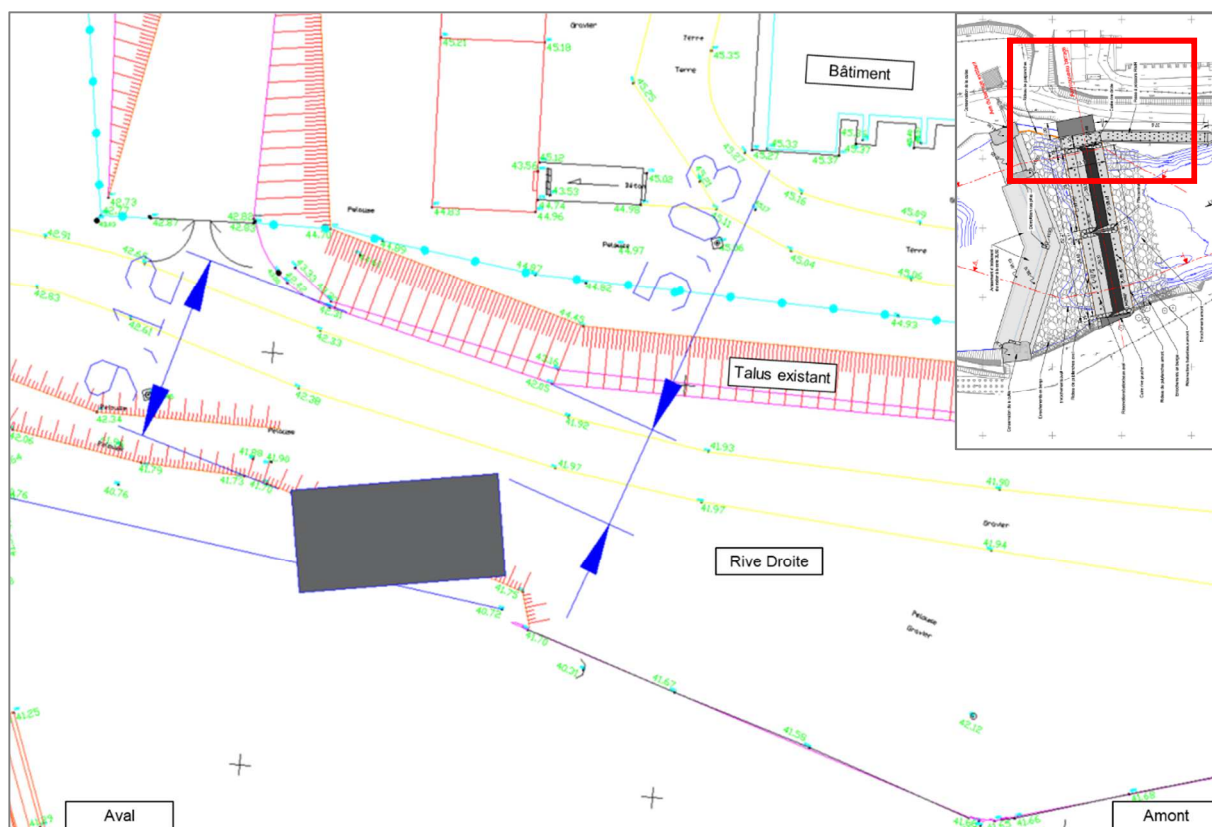


Figure 7 : Dimensions du terreplein en rive droite.

Si la présence du bâtiment industriel à proximité immédiate de l'implantation pressentie pour le local commande ne remet pas en cause la stabilité au grand glissement du talus provisoire, il est nécessaire de récolter des éléments sur son mode de fondation et la descente de charge qu'il constitue afin de s'assurer qu'il ne sera pas déstabilisé à l'ouverture des fouilles. Cette alerte est principalement valable pour le scénario BGE mais peut également l'être dans le scénario de barrage à clapets en cas d'un positionnement du local plus en retrait (fondations moins profondes mais local potentiellement plus proche du bâtiment).

3.3.3 Érosion régressive

L'application de la règle de Lane suivant les hypothèses de sol et de dimensions du local décrites précédemment donne un **critère tout juste vérifié ($1,02 > 1,00$)**.

Compte tenu de la nature du sol à l'interface béton de propreté/sol de fondation (sables = matériaux granulaires sensibles au phénomène de renard/boulance), le risque d'entraînement de fines ne peut être exclu, que ce soit par circulations d'eau sous l'ouvrage, ou par contournement hydraulique en berge. **La réalisation d'une bêche ou d'un para fouille en palplanches permettrait de limiter ce risque.**

3.4 ORGANES DE MANŒUVRE ET DE REGULATION DU BARRAGE

L'ensemble des organes de régulation des bouchures sont localisés dans le bâtiment de commande implanté en rive droite du barrage.



3.4.1 Colonnes de régulation

Le gonflage à l'eau se base sur le principe des vases communicants. Un puits de captage logé dans le local technique situé à proximité sur une rive s'équilibre avec le niveau amont.

Un pompage permet de rehausser le niveau d'une seconde colonne d'eau.

Elle est en relation avec la boudruche au moyen d'une conduite d'amenée qui permet son remplissage. Une troisième colonne d'eau est nécessaire pour réguler la boudruche (dit colonne de régulation).

Le dégonflage s'effectue par abaissement de la hauteur de la colonne de régulation, l'eau s'évacuant dans le compartiment de vidange du local technique.

3.4.2 Pompes de gonflage

Ces pompes sont installées dans les colonnes de régulation, mais peuvent également, selon les fournisseurs de boudruches, être installées dans une pièce au sec en fond du local technique, à proximité de la prise d'eau en rivière. Dans tous les cas, une pompe de remplissage par bouchure est prévue.

En cas de panne d'une pompe de remplissage, il est possible de prévoir une pompe de secours en redondance, ou de remplir la bouchure concernée par la pompe d'une autre bouchure par un jeu de vanne ou de by-pass.

Les pompes sont dimensionnées pour un temps de gonflage défini. Sur les 6 barrages de l'Aisne déjà équipés, ce temps a été calé à un maximum de 240 minutes.

3.4.3 Pompes de vidanges

Les bouchures doivent pouvoir être totalement effacées au plus tard lorsque le débit d'effacement propre au barrage est atteint.

Selon le niveau en aval du barrage, il peut être nécessaire de s'affranchir de cette contrainte aval pour pouvoir garantir un temps de vidange, par la mise en œuvre de pompes de vidange.

Ces pompes de vidange, identiques et en nombre égal au nombre de bouchures, sont submersibles et installées dans le local de vidange.

En cas de panne d'une pompe, la durée maximale d'abaissement double, le service automatique est cependant toujours possible à performance réduite.

En cas de perte d'énergie et défaillance du groupe électrogène, des dispositifs de secours permettent un fonctionnement dégradé à la vidange pour garantir l'effacement de la bouchure et le passage d'une crue.

3.5 CONDITIONS D'ACCES

La cote retenue pour le plancher intermédiaire correspond la cote PHEC (Plus Hautes Eaux Connues) garantissant ainsi la protection des équipements durant les épisodes de crue, et au-dessus du niveau d'eau de la colonne de remplissage pour garantir le remplissage maximale des bouchures, soit 45,30 mNGF.

De ce fait, l'étage supérieur du bâtiment de commande se retrouve significativement au-dessus du terrain naturel (de l'ordre de 3,30 m) :

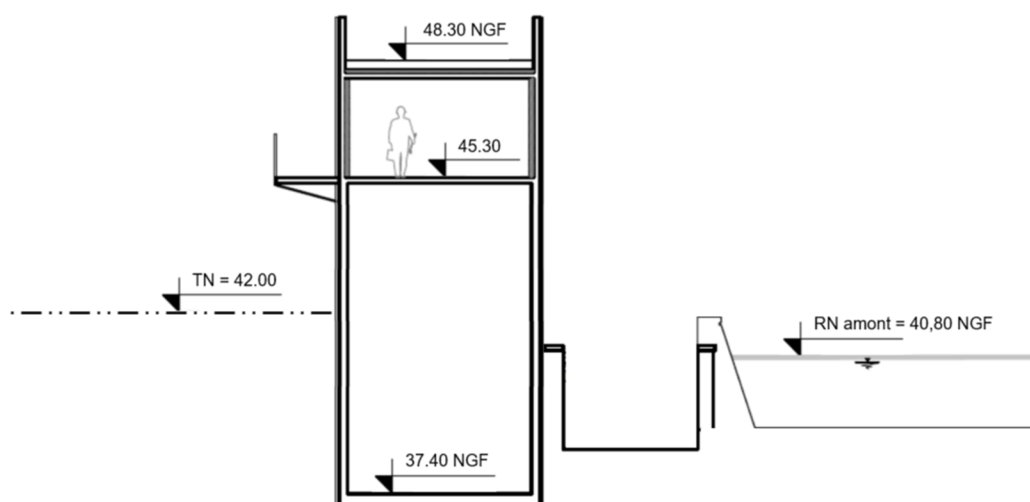


Figure 8 : Principe d'insertion du local en berges

En termes d'accessibilité depuis la rive droite, il est ainsi nécessaire de prévoir un escalier permettant d'accéder à l'étage supérieur du local. Ce dernier débouchera sur une coursière métallique de 2 m de large en porte-à-faux desservant le local commande et le local du groupe électrogène, accessibles par deux portes antieffraction à 2 ouvrants sur l'extérieur (de largeur et de hauteur égales à 2,10 m), selon le principe suivant :

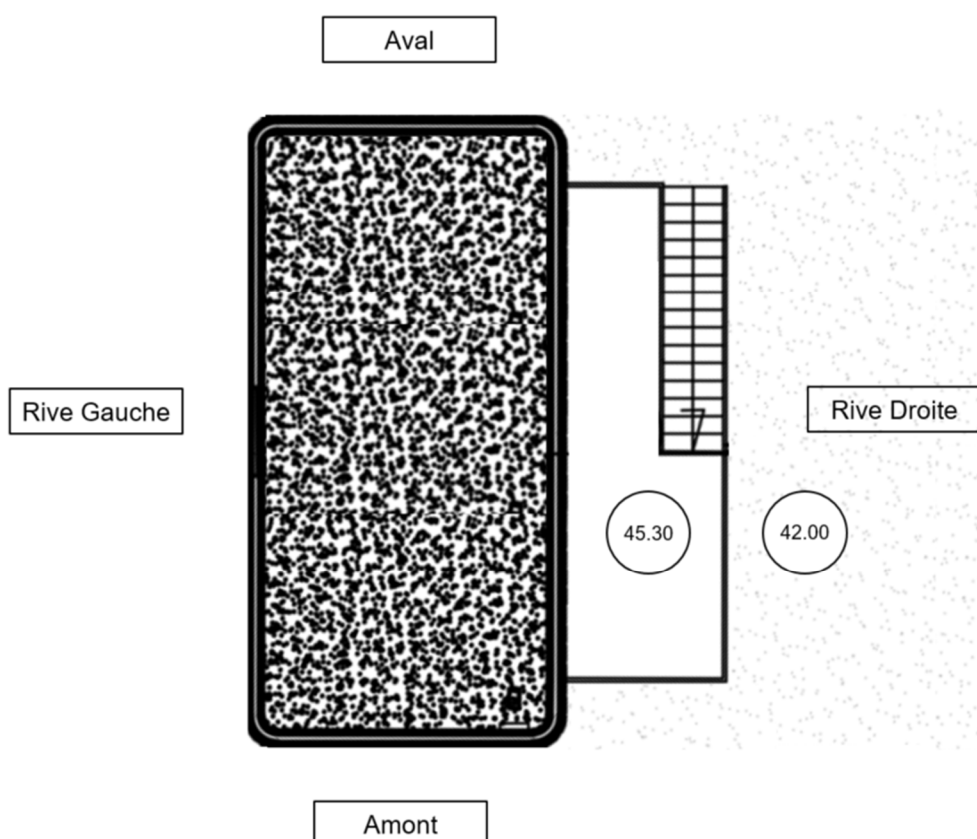


Figure 9 : Principe d'accès à l'étage supérieur du local commande.

La manutention nécessaire à la maintenance des équipements du local est de fait assurée à l'aide d'un engin de levage.

En cas d'impossibilité d'accès depuis la rive droite, l'accès depuis la rive gauche nécessitera la réalisation d'une passerelle au droit du barrage.



3.6 ESTIMATION FINANCIERE

L'estimation financière a été faite selon des ratios issus de retour d'expérience sur des chantiers similaires. Les ratios utilisés pour le chiffrage des différentes solutions sont les suivants :

ÉLÉMENT	PRIX (€ HT.)	DETAIL
Terrassements	15 000 à 20 000 €	Ce prix comprend l'ensemble des terrassements (déblais, remblais, évacuation) nécessaires à la construction du local technique.
Structure	110 000 à 135 000 €	Ce prix comprend la construction du génie civil de l'ouvrage (béton armé, coffrage, béton de propreté, etc.).
Travaux spéciaux	45 000 à 115 000 €	Ce prix comprend la mise en œuvre des travaux spéciaux de fondations de l'ouvrage (micropieux et soutènement).
Équipements pour fonctionnement des bouchures	350 000 à 400 000 €	Ce prix comprend l'ensemble des éléments nécessaires au fonctionnement du local commande et notamment au système de manœuvre des bouchures du BGE.
Architecture et équipements divers	240 000 à 290 000 €	Ce prix comprend l'ensemble des équipements de 2 nd œuvre, d'architecture et de manutention (isolation, escaliers, échelles, passerelle, coursive, portes, fenêtres, habillage, etc.).
Aléas et divers non métrés	20% du coût	Ce ratio s'applique par sécurité pour englober l'ensemble des prestations qui n'auraient pas été chiffrées. Ce ratio est amené à disparaître lors des études ultérieures quand des métrés spécifiques à une solution seront établis.

Tableau 2 : Estimation financière du local commande.

L'application de ces ratios permet de déterminer une fourchette de coût total (y-compris aléas et divers non métrés) de **900 000 – 1 150 000 € H.T.**

Nota : ce chiffrage concerne uniquement les travaux nécessaires à la réalisation du local commande à proprement parler et ne comprend pas les opérations relatives aux installations de chantier et batardeaux de chantier (estimés chacun à 10% du coût total du chantier) ainsi qu'à la passe à poissons et à l'aménagement des berges adjacentes.



4 SOLUTION BARRAGE A CLAPETS

La solution clapet se distingue de la solution BGE principalement par son organe de manœuvre qui est positionné au droit des piles du barrage.

Il s'en suit que le local de commande est constitué d'un bâtiment simple comprenant uniquement la partie supérieure du local technique du BGE mais pour une emprise au sol qui peut être sensiblement réduite compte tenu de la non nécessité d'accéder à l'étage inférieur (absence de trappes).

Au niveau de son plancher fonctionnel, celui-ci doit également se situer à la cote altimétrique de 45,30 mNGF (PHEC : Plus Hautes Eaux Connues), pour garantir la mise hors d'eau du groupe électrogène, des armoires électriques et de contrôle/commande.

A noter que ce bâtiment, contrairement à celui du BGE, n'a pas besoin d'être positionné accolé au barrage, et peut à l'instar du local existant être plus en retrait de la berge ce qui peut permettre de bénéficier d'une topographie plus favorable et de plus d'espace pour étudier un accès de plain-pied.

Le coût du local s'en trouve significativement diminué avec un cout d'ordre de 300 à 500k€ selon :

- son positionnement (en retrait ou au droit de la berge RD au contexte géotechnique peu favorable) et par conséquent le risque géotechnique associé ;
- le traitement de l'accès au local positionné hors d'eau.



5 RISQUES GEOTECHNIQUES ET BESOINS D'INVESTIGATIONS COMPLEMENTAIRES

5.1 RISQUES GEOTECHNIQUES

L'ensemble des incertitudes subsistant sur la définition du modèle géotechnique et la caractérisation des risques géotechniques concernant la réalisation du local commande sont synthétisés ci-dessous.

- Caractéristiques mécaniques des matériaux constitutifs de la berge en RD au droit du futur local technique (absence d'essais de laboratoire sur SC1) ;
- Aptitude au fonçage des palplanches dans les terrains très compacts de la couche 3 (les propriétés mécaniques n'ont été déterminées qu'à partir d'essais pressiométriques) ;
- Caractéristiques mécaniques de la couche 3 (issu à l'heure actuelle de 2 essais de cisaillement à la boîte) ;
- Perméabilité de la couche 3 vis-à-vis du risque de circulations d'eau sous l'ouvrage ;
- Agressivité de l'eau et des sols vis-à-vis des bétons ;
- Les sondages réalisés ne permettent pas de statuer sur la présence ou non d'un contre-rideau tiranté au niveau du terre-plein rive droite telle que supposée dans la note d'appropriation. La présence d'un ouvrage de ce type pourrait impacter le phasage de réalisation du local technique en rive droite à l'amont du barrage existant ;
- Au vu de la présence du bâtiment industriel à proximité immédiate de l'implantation pressentie pour le local commande, il est nécessaire de récolter des éléments sur son mode de fondation et la descente de charge qu'il constitue afin de s'assurer qu'il ne sera pas déstabilisé à l'ouverture des fouilles, et ce quel que soit le scénario retenu.

Nota : les risques géotechniques identifiés dans le présent chapitre sont communs aux deux scénarios (BGE et clapets). En effet, concernant le dernier point, cette alerte est principalement valable pour le scénario BGE mais peut également l'être dans le scénario de barrage à clapets en cas d'un positionnement du local plus en retrait (fondations moins profondes mais local potentiellement plus proche du bâtiment).



5.2 BESOINS COMPLEMENTAIRES

Au regard de l'analyse des études préliminaires présentée ci-avant, de l'étude de la complétude des données et de l'évaluation des risques qui en résulte, les besoins d'étude et d'investigations complémentaires nécessaires à la bonne poursuite de l'opération sont synthétisés ci-dessous :

Type d'investigation	Implantation	Essais associés	Quantité	Paramètre recherché	Maîtrise du risque
Sondages carottés	Berge RD (au droit du local technique pressenti)	Essais de perméabilité in-situ (Lefranc/Nasberg)	1	Perméabilité des couches en berge / niveau piézométrique.	Contournement par les berges
		Essais de laboratoire (GTR, essais triaxiaux)		Caractéristiques des couches (GTR, angle de frottement, cohésion)	Renversement, tassement, glissement, grand glissement
		Analyse chimique des sols		Agressivité des sols sur les bétons (siccité, sulfates solubles, acidité, etc.)	Durabilité
		Analyse chimique de l'eau		Agressivité de l'eau sur les bétons (PH, TAC, SO42-, NH4+, magnésium, CO2 agressif, etc.)	Durabilité
Géophysique	Rideau et contre-rideau supposé en RD	Auscultation par réflexion ET/OU Tomographie sismique parallèle	3	Hauteur/caractéristiques/géométrie des palplanches	Méconnaissance du rideau de palplanche en RD
Fouilles à la pelle		Fouilles à la pelle	3	Présence de tirants entre le rideau et le contre-rideau	
Documentaire	Bâtiment usine	-	-	Type de fondation, dimensions, descente de charge	Stabilité du bâtiment / grand glissement

Nota : ces investigations peuvent être conduites en parallèle du processus de désignation d'un maître d'œuvre (programme, consultation, etc.) jusqu'en phase AVP. L'incertitude relative à l'aptitude au fonçage des palplanches dans les terrains compacts de la couche 3 pourra être levée via les sondages pénétrométriques envisagés en rivièrre au droit du barrage pour lequel cette contrainte est également présente.



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