

ETUDE DE L'AJOUT D'UNE VANNE DE GARDE SUR UN PERTUIS DE VIDANGE DE FOND

Study of emergency gate installation on a bottom outlet sluice

Nicolas CROCHETON

TRACTEBEL, Tour Part-Dieu 129 Rue Servient 69326 LYON, France

nicolas.crocheton@tractebel.engie.com

MOTS CLEFS

Vidange de fond, vanne de garde, vanne de service, sureté, redondance, manœuvre en charge, comparaison de variantes, modification de l'existant.

KEY WORDS

Bottom outlet, emergency gate, service gate, safety, redundancy, unbalanced closure, option comparison, modification of existing configuration.

RÉSUMÉ

Le dispositif de vidange de fond d'un barrage a pour fonction primaire de permettre la vidange totale ou partielle de la retenue amont dans un certain délai. Il peut également parfois être employé pour contribuer à restituer un débit de consigne vers l'aval du barrage. Dans tous les cas, le débit relâché à l'aval est contrôlé par une vanne dédiée à cet effet ; cette vanne sera dite vanne de service.

En cas de défaillance de la vanne de service au cours de la restitution d'un débit, par exemple un blocage en position intermédiaire, il devient impossible de stopper l'écoulement. Ce scénario peut alors conduire à relâcher en aval un volume d'eau bien supérieur à celui prévu. Cela peut engendrer des conséquences importantes avec une perte de volume d'eau stocké dans la retenue ou bien avec un débit relâché en aval devenant plus élevé que la normale.

La solution usuellement mise en œuvre pour sécuriser le fonctionnement de la vidange de fond d'un ouvrage est de prévoir une deuxième vanne dans le pertuis, en amont de la vanne de service ; cette vanne sera dite vanne de garde. Il peut néanmoins arriver que des aménagements existants aient été construits sans pleinement prendre en compte le risque de défaillance de la vanne de service ; avec une vanne de garde non adaptée à la fermeture en charge ou bien totalement absente.

Après la présentation de ces exigences générales, le présent article exposera un cas d'étude d'ajout d'une vanne de garde sur un aménagement existant. L'aménagement considéré est un barrage voute de 50 m de haut environ qui est muni de 2 pertuis de vidange de fond équipés chacun d'une vanne de service de type segment, mais pas de vanne de garde. L'étude s'est attachée à analyser la faisabilité de l'ajout de vannes de garde selon 2 architectures différentes, en conservant ou non les vannes de service existantes. Les solutions ont été comparées en termes de complexité de chantier avec l'impact sur la structure existante du barrage, de coûts de réalisation et d'implications pour l'exploitation/maintenance de l'aménagement.

ABSTRACT

The main function of bottom outlet sluice on a dam is to flush totally or partially the reservoir within a limited time. It can also contribute to a controlled release of a downstream flow. In any case, the flow has to be controlled by a gate; it is said to be the service gate.

In case of malfunctioning of the service gate during flow release, it can become impossible to stop this flow. This case can lead to release a water volume much higher than expected. It can involve negative consequences with the loss of stored water in the reservoir, or an intense flow released in the downstream river.

Usually, the implemented solution to ensure reliability of bottom outlets is to consider a second gate in the sluice, upstream of the service gate; this gate is then called the emergency gate. However, dams have been constructed sometimes without consideration of service gate failure, or with installation of a second gate not able to fulfill its required functions.

After presentation of the main general requirements of a safe bottom outlet sluice, the present article will focus on a case study for addition of an emergency gate on an existing dam. The considered dam is 50 m high and it includes two bottom outlet sluices with radial service gates only. The study has analyzed two different scenarios for addition of emergency gates, with and without keeping the existing service gates. The solutions have been compared in terms of works complexity, impact on dam structure, installation costs and consequences for operation and maintenance.

1. INTRODUCTION

Le dispositif de vidange de fond d'un barrage a pour fonction principale de permettre la vidange, totale ou partielle, de la retenue amont dans un certain délai. Il peut également parfois être employé pour contribuer à restituer un débit de consigne vers l'aval du barrage. Dans tous les cas, le débit relâché à l'aval est contrôlé par une vanne dédiée à cet effet.

En cas de défaillance de cette vanne au cours de la restitution d'un débit, par exemple un blocage en position intermédiaire, il devient impossible de stopper l'écoulement s'il n'y a pas d'autre organe disponible en redondance. Ce scénario peut alors conduire à relâcher en aval un volume d'eau bien supérieur à celui prévu. Cela peut engendrer des conséquences importantes avec une perte de volume d'eau stockée dans la retenue ou bien avec un débit relâché en aval devenant anormalement élevé.

Cet article propose de présenter dans un premier temps les recommandations à suivre pour la conception des pertuis de vidange de fond des barrages afin d'éviter le risque de perte de contrôle du débit restitué. Dans un second temps, l'étude de modification d'une vidange de fond existante non munie initialement d'une deuxième vanne sera présentée.

2. CONSIDERATIONS GENERALES SUR LA CONCEPTION DES VIDANGES DE FOND

2.1. Exigences générales

De manière générale, la conception d'un dispositif de vidange de fond d'un barrage ou d'une retenue d'eau doit intégrer la présence d'une vanne principale, dite vanne de service, et d'une deuxième vanne en secours, dite vanne de garde.

La non-présence d'une vanne de garde pourrait seulement être justifiée si une analyse de risques dédiée venait démontrer que le blocage en position ouverte de la vanne de service n'entraîne pas de conséquence néfaste. Cela est rarement le cas en prenant en compte tous les paramètres entrant alors en jeu (perte de la ressource en eau, inondations potentielles en aval, impacts écologiques en amont et en aval, durée d'indisponibilité de la retenue, etc.).

Les vannes de garde et vannes de service n'ayant pas les mêmes fonctions, elles doivent satisfaire à des exigences propres à leur usage.

La vanne de service sera l'élément de contrôle et de régulation du débit. Elle devra être adaptée à un fonctionnement prolongé en position ouverte, sans instabilité hydraulique, mise en vibration ou cavitation. Selon les situations, elle pourra fonctionner uniquement en ouverture totale ou bien en ouverture partielle. Elle pourra également intégrer une fonction de dissipation d'énergie selon son type. La vanne de service n'a pas nécessairement la capacité de coupure gravitaire du débit.

La vanne de garde sera l'élément de sécurité du pertuis. Elle devra donc être en mesure de couper le débit en toute circonstance. Cela implique de disposer d'une capacité de fermeture en charge de l'écoulement maximal possible ; considéré généralement avec le niveau maximal de la retenue amont et l'aval hors d'eau. Cette capacité de fermeture en charge devra de plus être effective en situation dégradée pendant laquelle toute source d'alimentation de l'aménagement serait indisponible. On considère donc généralement une vanne ayant une capacité de fermeture gravitaire en charge ; ceci étant la solution la plus fiable.

La vanne de garde devra également pouvoir rester en position ouverte de longues périodes, sans dérive de position, et avec une capacité de fermeture relativement rapide, impliquant une installation à demeure dans le pertuis et un organe de manœuvre motorisé.

Si le pertuis n'est pas muni en amont d'un organe de filtrage des corps étrangers (type grille ou structure béton), la vanne de garde devra aussi être préférentiellement à passage intégral pour ne pas être sensible au coincement de corps étrangers.

La vanne de garde est généralement positionnée en amont de la vanne de service pour, d'une part, que le contrôle de l'écoulement par la vanne de service soit le plus à l'aval possible (pour la stabilité de l'écoulement) et, d'autre part, pour que la vanne de garde puisse être utilisée comme batardeau pour la maintenance de la vanne de service. Cette configuration permet également de préserver la vanne de garde des écoulements turbulents en aval de la vanne de service.

2.2. Configurations rencontrées

Les vannes de services seront généralement de type : vanne segment de fond, vanne levante glissante, vanne levante roulante à plan d'étanchéité amont ou aval ; ceci pour les constructions spéciales mécano-soudées. Pour les configurations en tuyauterie, on pourra rencontrer des vannes jet creux ou vannes annulaires principalement.

Les vannes de garde seront généralement de type vanne levante roulante à plan d'étanchéité aval pour faciliter la fermeture gravitaire à l'aide de l'effet de la pression amont appliquée sur le dessus du tablier de vanne ; ceci pour les constructions spéciales mécano-soudées. Pour les configurations en tuyauterie, on pourra rencontrer principalement des vannes papillon ou vannes sphériques avec contrepoids pour disposer de la fermeture gravitaire.

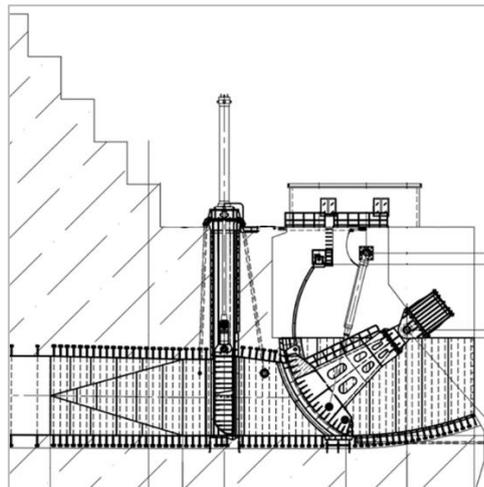


Figure 1 : Exemple de configuration avec vanne wagon de garde + vanne segment de service

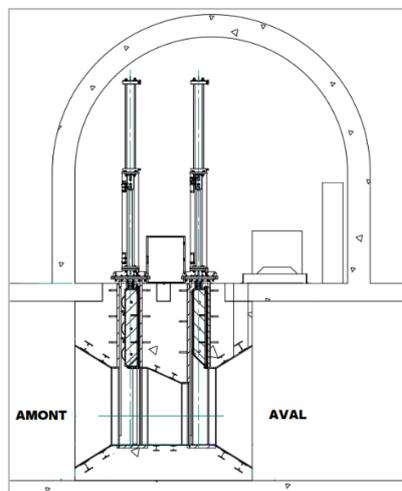


Figure 2 : Exemple de configuration avec vanne roulante de garde + vanne glissante de service

En plus du choix du type de vanne, la distance entre les vannes de garde et de service est aussi un paramètre à considérer. Une distance minimale peut être imposée entre la vanne de garde et la vanne de service afin de limiter le risque de blocage simultané des deux vannes par un corps mort (blocage d'un corps mort sur la vanne aval empêchant la vanne amont de se fermer), en particulier dans le cas où il n'y aurait pas de grille en amont de l'ouvrage de vidange.

Cette distance est spécifique aux environnements de chaque projet (types de corps étrangers potentiels) et aux conditions de déboisement sur les berges de la retenue.

3. PRESENTATION DE L'AMENAGEMENT ETUDIE

3.1. Configuration existante

L'aménagement étudié (maintenu anonyme dans le présent article), est constitué d'un barrage voute de hauteur 50 mètres environ disposant de 2 pertuis de vidange de fond identiques. Ces pertuis disposent des caractéristiques suivantes, de l'amont vers l'aval :

- 1 entonnement en béton ;
- 1 batardeau amont de maintenance 4,5x3,8 m (HxL), manœuvré en situation équilibrée ;
- 1 pertuis blindé rectangulaire ;
- 1 vanne de service de type segment de fond 2,5x3 m (HxL), charge 46 mCE au seuil ;
- 1 pertuis aval partiellement blindé avec une cuillère d'orientation du jet en sortie.

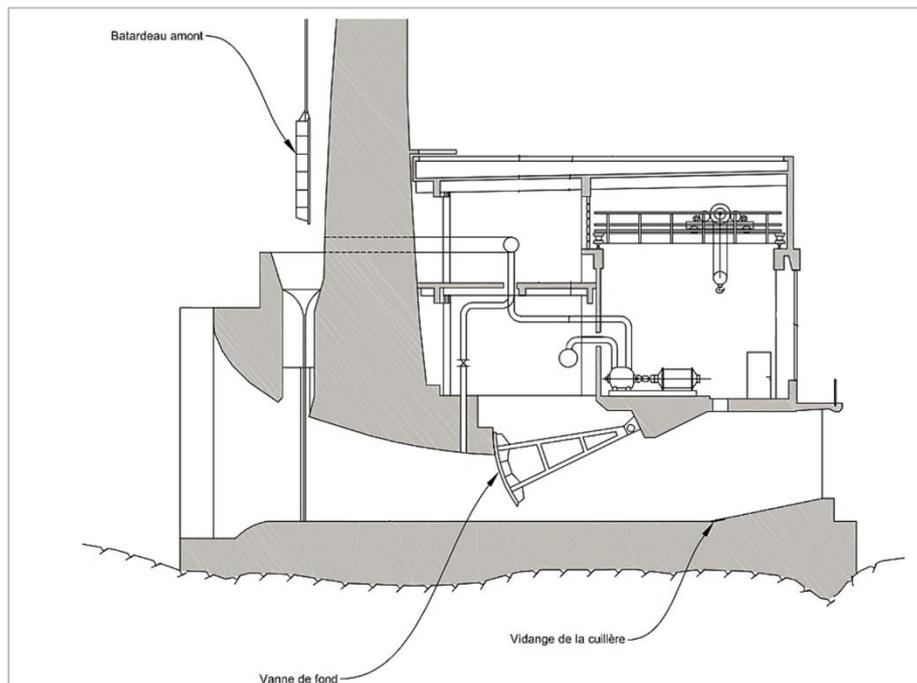


Figure 3 : Coupe du pertuis de vidange de fond

Cette configuration présente une vanne de service adaptée à son usage ; elle permet de restituer des débits importants avec un écoulement stable et maîtrisé, sans risque pour l'aménagement ou le bassin aval. Cette vanne de service n'est pas en mesure de couper le débit en fermeture gravitaire mais une manivelle de secours permet d'effectuer cette action à vitesse réduite sans énergie. L'absence de vanne de garde a néanmoins été identifiée comme une source de risque pour la gestion de la ressource en eau amont puisque, en cas de blocage de la vanne de service, aucune solution ne serait disponible pour éviter la vidange de la retenue. Ce constat a initié l'étude de l'ajout d'une vanne garde en redondance de la vanne de service.

3.2. Configuration recherchée

La configuration recherchée consiste à disposer d'une vanne de garde et d'une vanne de service sur chacun des 2 pertuis de vidange de fond. Il n'est pas fixé a priori si les vannes de service existantes doivent être conservées ou non.

Les exigences fonctionnelles principales identifiées sont les suivantes :

Pertuis complet :

- Disposer d'une vanne de garde et d'une vanne de service en série ;
- Disposer de vannes pouvant s'insérer dans la largeur des pertuis existants ;
- Disposer d'une débitance au moins équivalente à celle de la configuration existante.

Vanne de garde :

- Position courante : Ouverte et non verrouillée
- Type de fonctionnement : Tout ou rien : Ouvert/fermé
- Section de passage : Supérieure à celle de la vanne de service
- Mode de fermeture : Gravitaire sous poids propre
- Mode d'ouverture : Motorisation à définir

Vanne de service :

- Position courante : Fermée
- Type de fonctionnement : Ouverture partielle ou totale sur longues périodes
- Section de passage : Au moins équivalente à la vanne existante (7,5 m²)
- Mode de fermeture : Motorisation à définir
- Mode d'ouverture : Motorisation à définir

3.3. Contraintes particulières

Les contraintes particulières à prendre en compte pour la modification des pertuis sont de plusieurs ordres : l'espace disponible pour intégrer de nouvelles vannes, l'impact des nouvelles vannes sur les descentes de charges transmises au génie civil du barrage et les conditions de réalisation envisageables pour les travaux.

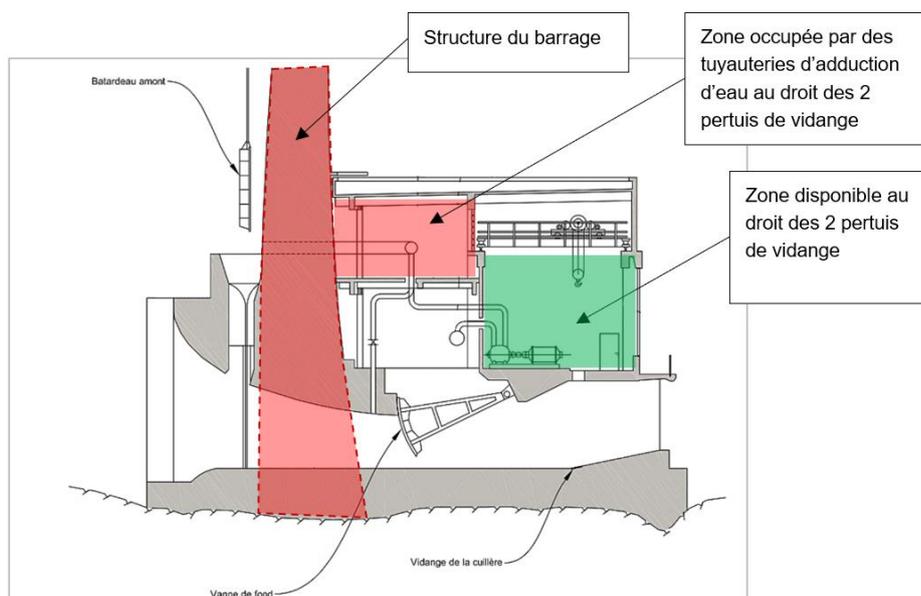


Figure 4: Identification des contraintes spatiales

La figure ci-dessus présente les données considérées pour identifier les zones possibles pour l'implantation des vannes :

- Zone en amont du parement du barrage : Cette zone présente l'intérêt d'avoir des dimensions peu contraintes mais elle est toujours submergée.
- Zone au droit de la vanne segment existante, mais avec une hauteur sous plafond limitée : la limitation de hauteur peut être problématique pour les phases de montage et de maintenance de vannes à mouvement vertical.
- Zone en aval de la vanne segment existante : Cette zone présente l'intérêt d'être dans l'emprise du pont roulant de l'usine mais elle conduit à augmenter la longueur en charge du pertuis.

Quelle que soit la solution retenue, le contexte de réalisation des travaux ne permet pas la vidange de la retenue. De plus l'un des deux pertuis de vidange devra toujours être fonctionnel.

4. SOLUTIONS PRELIMINAIRES PASSEES EN REVUE

Concernant la technologie de la vanne de garde, il est retenu une vanne wagon avec étanchéité aval. Elle permet en effet de disposer d'une vanne à fermeture gravitaire dont les dimensions peuvent s'adapter à celles d'un pertuis rectangulaire avec une section de coupure de l'ordre de 8 m².

Les vannes circulaires sont écartées pour deux raisons. La première est que la section nécessaire conduirait à un diamètre de 3,2 m environ ; cette valeur est supérieure à la largeur courante du pertuis. La seconde est qu'une vanne circulaire (type annulaire ou jet creux) nécessite d'être installée dans une chambre avec un accès sur toute sa périphérie ; cela n'apparaît pas adapté dans le contexte existant.

4.1. Configurations avec conservation de la vanne de service existante

Installation d'une vanne wagon sous carter à l'amont de la vanne segment :

Cette solution présente l'intérêt de pouvoir faire les travaux à l'aval du batardeau amont et de conserver la vanne de service existante. Une analyse de l'espace disponible au-dessus de la vanne a conduit à écarter cette solution bien qu'il s'agisse d'une configuration rencontrée assez régulièrement sur les vidanges de fond.

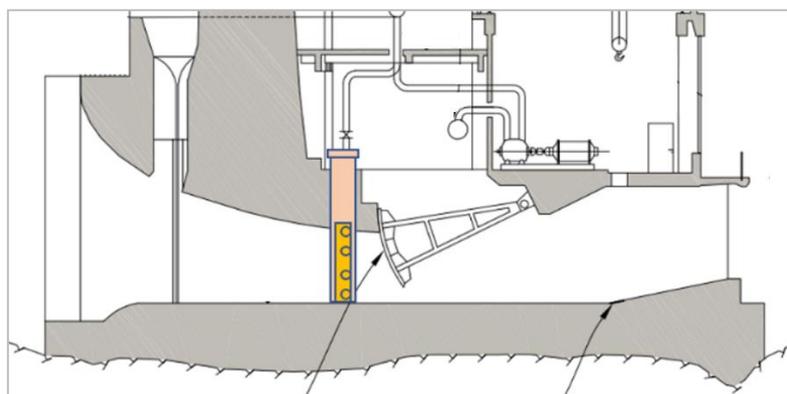


Figure 5 : Vanne wagon sous carter en amont de la vanne existante

Installation d'une vanne wagon sous carter à l'aval de la vanne segment :

Cette solution présente l'intérêt de pouvoir faire les travaux à l'aval du batardeau amont et de conserver la vanne de service existante. Par rapport à la solution précédente, elle permet aussi de disposer d'un espace suffisant pour l'installation de la vanne de garde.

En revanche, la position de la vanne de garde en aval de la vanne de service présente plusieurs inconvénients :

- La vanne de garde ne peut pas être utilisée pour isoler la vanne de service de la retenue amont ;
- En cas de défaillance de la vanne de service en position totalement ou partiellement ouverte, la vanne de garde devra couper un écoulement turbulent pouvant générer des perturbations sur son comportement ;
- Toute la zone du pertuis en amont de la vanne de garde se retrouvera en charge lorsque celle-ci sera fermée. Cela implique que le pertuis entre les 2 vannes soit en mesure de reprendre la pression amont ;
- La modification du plafond du pertuis en aval de la vanne segment pourrait modifier le comportement hydraulique de son jet.

Le cumul de ces points négatifs a conduit à écarter rapidement cette solution.

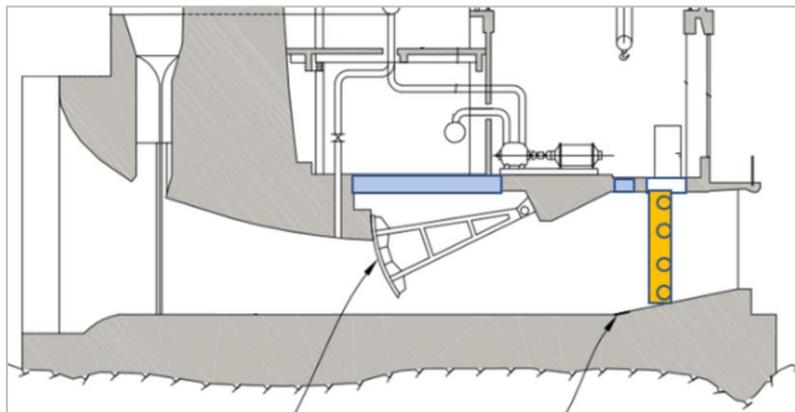


Figure 6 : Vanne wagon sous carter l'aval de la vanne existante

Installation d'une vanne wagon à la place du batardeau amont :

Cette solution présente l'intérêt de peu modifier le génie civil des pertuis. Le batardeau amont est remplacé par une vanne wagon ayant une cinématique similaire et assurant la double fonction de batardeau et de vanne de garde. Il faut néanmoins prévoir de remplacer les pièces fixes de guidage existantes pour disposer de rails de roulement robustes adaptés en efforts localement importants exercés par les roues de la vanne. Le remplacement de ces pièces fixes n'est pas sans complication pour le chantier puisque celles-ci sont normalement toujours en eau.

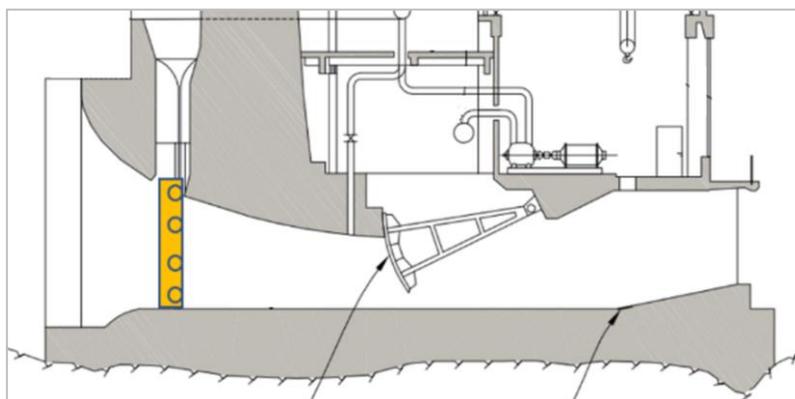


Figure 7 : Vanne wagon à la place du batardeau amont

4.2. Configurations avec remplacement de la vanne de service

Installation de 2 vannes sous carter en sortie de pertuis :

Cette solution vise à résoudre les inconvénients des solutions précédentes : Un chantier pouvant être mis hors d'eau facilement avec le batardeau amont existant, une disposition entre les deux vannes hydrauliquement adaptées et une zone d'implantation dans le barrage restant réalisable. La complexité de la solution se situe néanmoins dans la modification des descentes de charge transmises au génie civil.

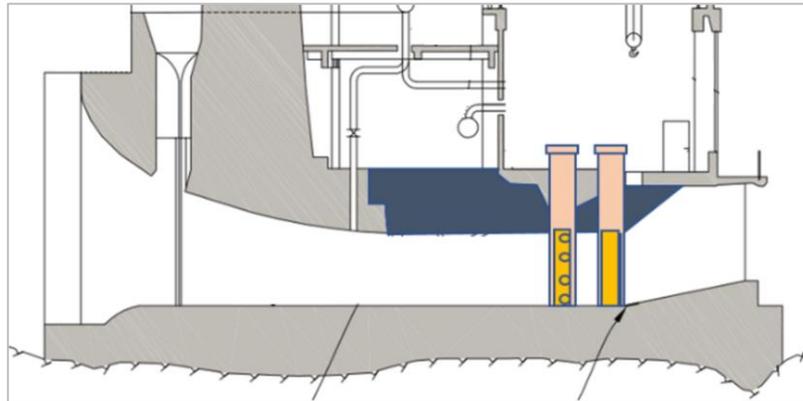


Figure 8 : Vannes sous carter en sortie de pertuis

5. APPROFONDISSEMENT DES SOLUTIONS REALISABLES

5.1. Vanne wagon à la place du batardeau amont

La solution pré-étudiée est composée d'une vanne wagon 3,8x4,6 m (LxH) manœuvrée par vérin hydraulique simple effet. Le vérin de chaque vanne est implanté au-dessus du niveau de la retenue amont ; des brimbales font la liaison entre celui-ci et le tablier de vanne. La mise en œuvre de la solution sur les deux pertuis inclut les équipements suivants :

- 2 tabliers de vanne (20 T environ) avec leurs étanchéités et leurs systèmes de guidage ;
- 2 jeux de pièces fixes scellées pour assurer le guidage et l'étanchéité des vannes ;
- 2 vérins hydrauliques de manœuvre avec leur support de montage ;
- 2 séries de brimbales pour assurer la connexion entre les tabliers de vannes et les vérins ;
- 2 centrales hydrauliques pour piloter les vérins ;
- 2 armoires électriques de contrôle-commande pour piloter les vannes ;
- Un outillage de maintenance pour verrouiller en position les brimbales lors de leur démontage ou lors du démontage des vérins.

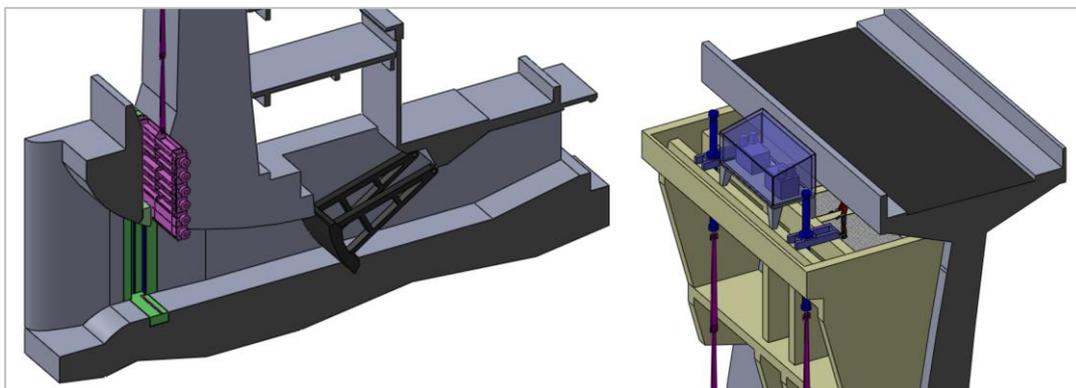


Figure 9 : Solution vanne wagon amont

Le remplacement des pièces fixes nécessite la démolition des bétons de seconde phase dans lesquels sont scellés les pièces fixes existantes ; cela représente un volume de l'ordre de 40 m³. Les nouvelles pièces fixes doivent ensuite être positionnées, ajustées en position avant d'être scellées avec un nouveau béton. Il n'apparaît pas envisageable de réaliser ces travaux en situation immergée. Il a donc été nécessaire de pré-étudier un dispositif de batardage de chantier pour assurer la faisabilité de la solution.

Le dispositif envisagé, qui est à installer depuis une barge en surface avec l'assistance de plongeurs, est composé de plusieurs séries de poutres métalliques venant s'appuyer sur le béton existant pour obturer l'entonnement amont 9,1x3,8 m (HxL) et le haut de la rainure de guidage 6,5x1,5 m (HxL) environ. La masse de cet équipement a été estimée à 30-35 tonnes.

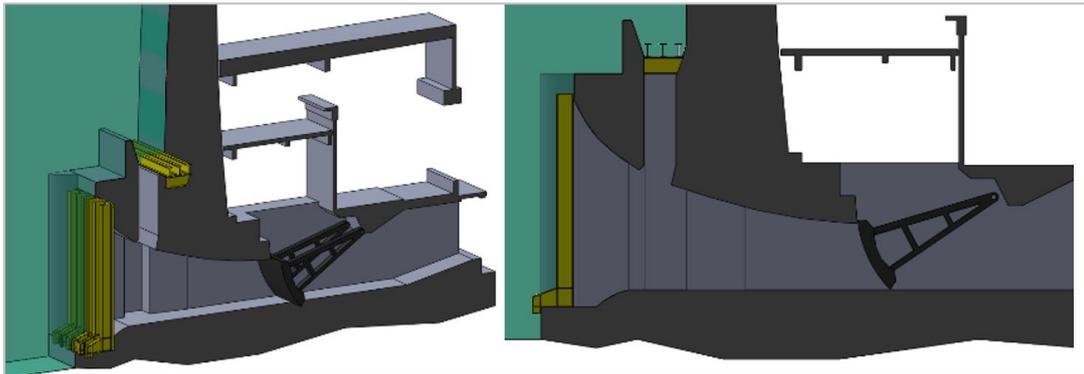


Figure 10 : Batardeau d'isolement pour le chantier de la vanne wagon amont

La mise en œuvre complète de la solution a été estimée à un coût de 8 M€ (2020, pour 2 pertuis).

5.2. Deux vannes sous carter en sortie de pertuis

La solution pré-étudiée est composée de deux vannes neuves : une vanne wagon de garde 2,8x3,4 m (LxH) sous carter manœuvrée par vérin hydraulique simple effet et une vanne wagon de service 2,5 x 3,05 m (LxH) sous carter manœuvrée par vérin hydraulique double effet. Les masses de ces deux vannes ont été estimées à respectivement 9,5 tonnes et 7,5 tonnes.

Afin de simplifier les descentes de charge transmises au génie civil, le blindage amont (longueur 9,4 m) et le blindage entre les deux vannes (longueur 1,6 m) sont prévus auto-résistants. Le blindage en aval de la vanne de service est quant à lui non-auto-résistant. Cette disposition permet d'éviter la transmission au béton environnant des effets de la pression dans le blindage en charge. L'effet de la poussée exercé sur les vannes fermées doit quant à lui être diffusé vers le nouveau béton armé de seconde phase ; celui-ci transférant alors cet effort vers le béton existant du barrage le long du linéaire de l'interface.

La masse totale du blindage est estimée à 65 tonnes ce qui constitue l'élément métallique dominant de cette solution.

L'installation de ce blindage nécessite également des travaux de génie civil conséquents : le pertuis existant doit être partiellement démoli pour ménager les réservations nécessaires ; cela représente un volume de l'ordre de 170 m³. Les nouveaux blindages doivent ensuite être scellés dans un béton armé ; cela représente un volume de l'ordre de 300 m³.

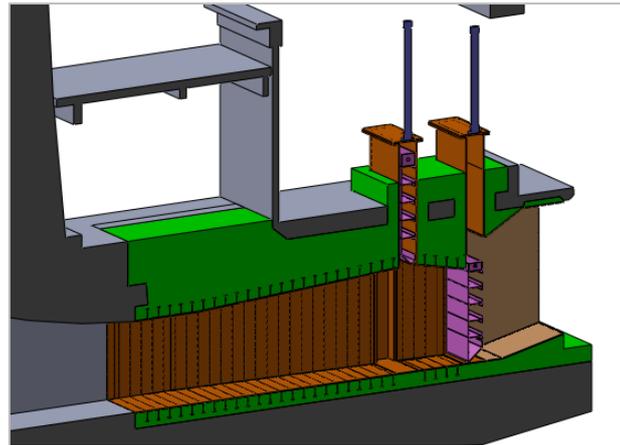


Figure 11 : Solution avec 2 vannes sous carter

La mise en œuvre complète de la solution a été estimée à un coût de 7 M€ (2020, pour 2 pertuis).

5.3. Analyse comparative

Les deux solutions présélectionnées ont été comparées sur la base de critères pondérés de façon à les hiérarchiser de la manière la plus objective possible. Les critères d'analyse suivants ont été considérés :

- Fiabilité technique de la solution : Aptitude à s'insérer dans l'aménagement existant, sans impacter sa tenue et ses fonctionnalités - Faculté à garantir un écoulement hydraulique stable et sans cavitation en situation stationnaire débitante et en situation de manœuvre - Robustesse de la vanne de service.
- Réalisation des travaux : Besoins de travaux de confortement complémentaires ou de renforcement des ouvrages d'accueil - Risque d'aléas technique durant les travaux - Durée prévisionnelle de travaux et impacts prévisibles en phase travaux (cru).
- Exploitation-Maintenance : Conditions d'accès et facilités de maintenance - Coûts induits pour l'entretien et la maintenance - Impact sur les usages actuels d'exploitation.

L'analyse de ces critères et sous-critères, ayant chacun une pondération propre, a conduit aux résultats ci-dessous :

	Solution n°1	Solution n°2
Estimation qualitative du coût	8 000 000,00 €	7 000 000,00 €
Ecart prix	14%	-
Note financière / 20	17,5	20,0
Note technique / 45	36	27
<i>Fiabilité de la solution (15 points)</i>	14	10
<i>Réalisation des travaux (15 points)</i>	11	4
<i>Exploitation-Maintenance (15 points)</i>	11	13
Note totale /65	53,5	47,0
Note totale /20	16,5	14,5
Classement	1	2

Figure 12 : Résultats de l'analyse comparative technico-économique

Les critères, leurs pondérations et les notes associées ont été définis en étroite collaboration avec le maître d'ouvrage qui dispose de ses propres stratégies en termes de choix de technologies, maîtrise des risques de crues en phase chantier ou encore d'exigences pour l'exploitation et la maintenance.

La solution n°1 (vanne de garde amont) arrive en tête de l'analyse. Concernant la fiabilité de la solution, le fait de conserver la vanne de service existante est un atout car celle-ci donne satisfaction à l'exploitant, tant pour son fonctionnement que pour le comportement hydraulique de l'écoulement. Pour la réalisation des travaux, la solution n°2 a été pénalisée par le besoin de démolition d'un volume de béton important proche du corps du barrage et par la modification des descentes de charges issues des vannes. Pour l'exploitation et la maintenance, la solution n°1 est légèrement moins bien notée car la configuration amont de la vanne de garde, à la place du batardeau, ne permet pas d'effectuer facilement sa maintenance.

6. CONCLUSION

Le dispositif de vidange de fond d'un barrage est un élément de sécurité important, pour le barrage en lui-même, pour la ressource en eau stockée et pour l'environnement en aval. Le bon fonctionnement et la fiabilité de ce dispositif sont donc des éléments majeurs à considérer aussi bien sur les aménagements existants que neufs. C'est pour cette raison que la mise en œuvre d'une architecture avec une vanne de service et une vanne de garde est fortement préconisée, de façon à pouvoir faire face à toute défaillance de la vanne de service, quel que soit son taux d'ouverture.

Lors de la définition de l'architecture d'un pertuis de vidange de fond muni de vannes de garde et de service, le concepteur devra ensuite considérer les fonctionnalités propres à chacune d'elles, comme la fermeture gravitaire en charge pour la vanne de garde, lors du choix des types de vannes et de leur implantation dans le pertuis. Il n'est également pas rare que des essais sur modèles réduits soient pratiqués pour les applications sous charge élevée afin de valider la configuration du pertuis et les interactions hydrodynamiques entre les deux vannes.

A travers un exemple illustré, cet article a présenté la démarche d'étude réalisée pour l'installation d'une vanne de garde sur un barrage existant muni de deux pertuis de vidange de fond avec uniquement des vannes de service. Les études ont conduit à identifier 2 solutions différentes qui ont ensuite été comparées à l'aide d'une analyse multicritères pondérée basée sur la fiabilité des solutions, les conditions de réalisation des travaux et les impacts sur l'exploitation maintenance ; tout ceci selon les exigences particulières du maître d'ouvrage.