

VIBRATION DES VANNES SEGMENT DES BARRAGES MOBILES

Run-of-river dam radial gates vibrations

Luc Boulat, Alexandre Neyret, Adrien Balthazard

CNR, 2 rue André Bonin 69004 LYON

l.boulat@cnr.tm.fr ; a.neyret@cnr.tm.fr ; a.balthazard@cnr.tm.fr

MOTS CLEFS

Vanne segment, volet, pulsations de pression, instrumentation, bassin d'amortissement

KEY WORDS

Radial gate, flap gate, pressure fluctuations, instrumentation, stilling basin

RÉSUMÉ

Les vannes segment des barrages mobiles en rivière fonctionnent la plupart du temps avec un niveau aval. Lorsque le ressaut est noyé, la vanne subit des sollicitations qui ont toujours été difficiles à caractériser. De nombreux phénomènes sont en jeu et peuvent avoir un impact direct sur l'endommagement de la vanne. Nous pouvons citer entre autres les pulsations du bassin d'amortissement, les instabilités hydrauliques, le comportement du joint de seuil, la formation de tourbillons alternés, l'instabilité intrinsèque de la vanne. D'autres part, depuis leur mise en service, les modifications des modalités d'exploitation des vannes peuvent également être à l'origine de désordres.

A la construction, de nombreux problèmes, avec une cinétique rapide, sont apparus pour certains aménagements et ont été résolus. Aujourd'hui, apparaissent des désordres de cinétiques probablement plus lentes liés, entre autres, aux phénomènes cités ci-dessus. Ils méritent d'être analysés finement pour les maîtriser et assurer le suivi de l'ouvrage.

L'exemple considéré est une vanne segment avec volet de surface sur laquelle des désordres ont été observés. Un modèle numérique recalé à partir de mesures de contraintes sur la vanne a permis de définir une durée de vie estimative des zones critiques. L'objet de l'article est de présenter un point d'étape d'une analyse complète des désordres et de proposer un critère de vérification préliminaire adapté à ce cas.

ABSTRACT

Radial gates on run-of-river dams usually operate with a downstream level. When the hydraulic jump is submerged, the gate is subjected to loads that have always been difficult to characterize. There are many phenomena involved that and can have a direct impact on gate damage. These include pulsations in the stilling basin, hydraulic instabilities, behavior of the seals, formation of alternating vortices, and the intrinsic instability of the gate. On the other hand, since they were commissioned, changes in the way the gates are operated can also be the cause of problems.

At the time of construction, many problems, with rapid kinetics, arose with certain installations and were resolved. Today, however, problems with slower kinetics are appearing, linked among other things to the above-mentioned phenomena. These need to be analyzed in detail in order to control them and ensure the monitoring of the structure.

The example considered is a radial gate with flap, on which damages have been observed. A numerical model adjusted based on stress measurements on the gate was used to define an estimated service life for the critical zones. The aim of the article is to present a progress report on a complete analysis of the damages and propose a verification criterion adapted to this case.

1. INTRODUCTION

1.1. Préambule

Les barrages mobiles sont des ouvrages de retenue disposés perpendiculairement à l'axe de la rivière, généralement constitués d'un ouvrage en Génie Civil, composé de piles et de radiers, et de vannes permettant la retenue et le contrôle du débit. L'ouvrage, au niveau de son radier, s'étend généralement légèrement à l'amont et dispose d'un bassin d'amortissement à l'aval (Figure 1). La fonction du bassin d'amortissement est de dissiper l'énergie pour, d'une part, limiter les érosions à l'aval du barrage et, d'autre part, pour éloigner les turbulences de l'écoulement de la structure de la vanne. Il faut noter que ces considérations sont d'autant plus importantes que l'impact de ces turbulences sur la vanne, notamment la mise en vibration, est très difficilement caractérisable. Il est donc impératif que le concepteur de l'aménagement s'attache à définir l'ouvrage permettant de satisfaire ces conditions.

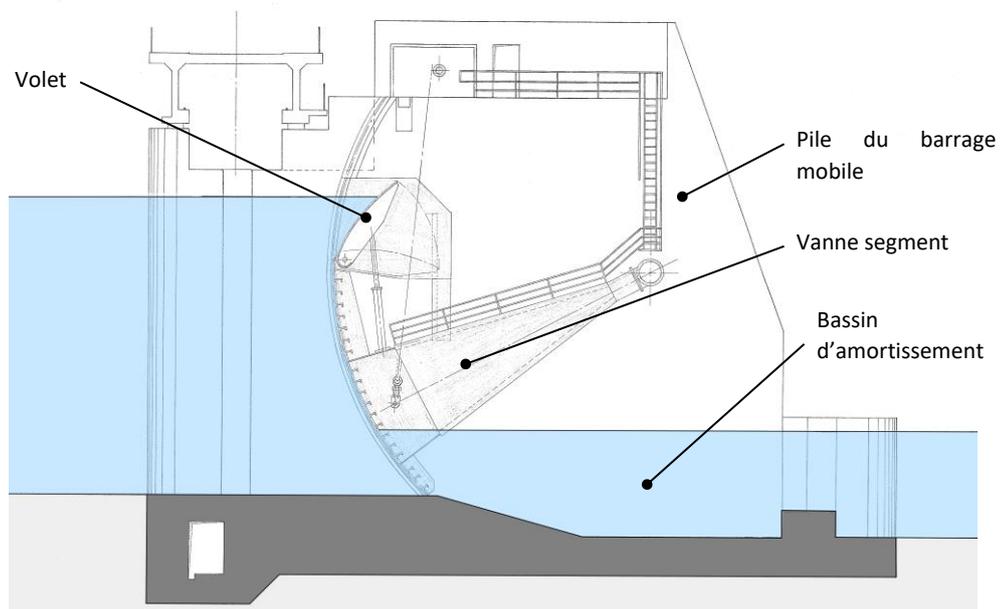


Figure 1 : Barrage mobile typique – Coupe longitudinale

Traditionnellement, les vannes évacuatrices de crues ne sont pas dimensionnées à la fatigue, ce qui peut se justifier par les règles de l'art énoncées ci-dessus et le très faible nombre de manœuvres. D'ailleurs, suivant la norme qui fait référence [1], la vérification à la fatigue des vannes d'évacuateurs de crues n'est pas nécessaire.

Il peut néanmoins y avoir, à long terme, des effets qui peuvent être observés, et qui méritent une attention particulière. L'objet de cet exposé est de rappeler les fondamentaux et de présenter le cas d'une vanne qui présente des symptômes particuliers. Dans la diversité des configurations des barrages mobiles, cet exposé s'intéresse uniquement à ceux équipés de vannes segment à volet de surface dont le niveau aval est supérieur au seuil de la vanne, c'est-à-dire avec l'aval noyé (Figure 1). La démarche est pleinement répliquable à d'autres configurations.

1.2. Bref historique concernant la vibration des vannes

La vibration des vannes est un sujet qui est apparu rapidement avec le développement des vannes. De nombreux travaux ont été entrepris pour mieux caractériser les phénomènes et adapter les dispositions constructives pour éliminer les vibrations, ou au mieux, palier à ses effets négatifs (bruits, fissuration, ...). S'ils sont apparus dès la mise en service, ils ont souvent été résolus dès les premières années d'exploitation. On peut ainsi dire que, d'une manière générale, les ouvrages existants bénéficient de ces développements et/ou que les principaux problèmes ont été résolus.

Les principales sources d'excitations pour une vanne sont présentées dans l'article [2] dont on peut retenir que la stabilité des décollements/recollements des écoulements et la conception des étanchéités sont d'une grande importance. A ce titre, quelques recommandations générales sont données pour anticiper ces phénomènes.

Pour le cas particulier des vannes segment à volet, souvent utilisées sur les barrages mobiles, la référence [3] permet de détailler d'autres phénomènes comme les pulsations du ressaut aval noyé et les effets des courant transversaux.

Pour compléter, dès la mise en service, certains aménagements aux Etats-Unis ont également subi des problématiques similaires, par exemple suivant [4]. Les phénomènes en jeu, identifiés ci-dessus, sont similaires.

De nombreuses autres références, notamment [5], [6] et [7], pourraient être présentées mais on retiendra, de manière synthétique, les effets prépondérants suivants pour les vannes de barrage mobiles :

- Pulsations de pressions dues au rouleau aval,
- Effet des écoulements transversaux lorsque le volet est ouvert,
- Instabilité du jet sous la vanne ou de la lame déversante,
- Mise en vibration de l'étanchéité de seuil,
- Surpressions dues au remplissage rapide d'espaces confinés.

1.3. Les barrages mobiles du Rhône

Sur les aménagements du Rhône, les barrages mobiles sont prépondérants et l'utilisation de vannes segment avec des volets est une configuration très courante. Les vannes segment sont de grande dimension (18 m à plus de 45 m de largeur). De manière très générale, historiquement, les vannes étaient principalement utilisées pour faire passer les crues avec le corps inférieur, les volets étant utilisés ponctuellement pour l'évacuation de corps flottant et pour le passage du débit réservé. Pour certains aménagements, le passage du débit réservé était également assuré par des groupes de restitution. Ce mode de fonctionnement a récemment été légèrement modifié par l'augmentation de certains débits réservés. Dès lors, les vannes des barrages ont été mises à contribution, de manière transitoire, pour le passage de ces débits supplémentaires.

2. PROBLEMATIQUE RENCONTREE SUR UNE VANNE SEGMENT A VOLET

2.1. Constat

La vanne segment en question est une vanne équipée d'un volet dont la chute est de l'ordre de 7,5 m. Le volet est utilisé pour passer une partie du débit réservé quand le groupe de restitution est indisponible ou saturé. Des fissures ont été observées dans le corps inférieur de la vanne, dans la partie immergée (Figure 2). Ces fissures se sont développées dans les voiles verticaux de la vanne, dans des zones où les contraintes, dues au chargement hydrostatique, sont très faibles.

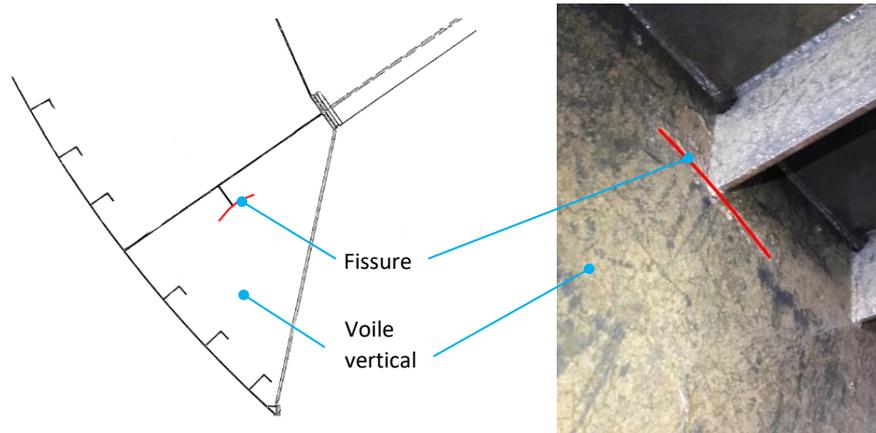


Figure 2 : Exemple de localisation d'une fissure

Pour compléter, cette vanne n'a jamais été sujette à des phénomènes vibratoires depuis sa mise en service. En revanche, parmi les vannes constituant le barrage, les fissures sont apparues de manière privilégiée sur celle dont le nombre d'heures d'utilisation du volet est largement supérieur aux autres (Figure 3).

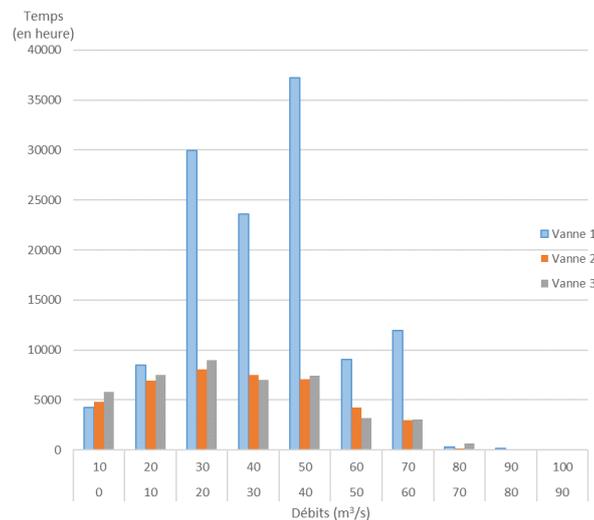


Figure 3 : Nombre d'heure d'utilisation en fonction du débit des volets depuis la mise en service

2.2. Analyses et vérifications préliminaires

Les premières vérifications ont cherché à vérifier la conception initiale de l'ouvrage en analysant la géométrie du bassin d'amortissement et en estimant les courants transversaux. Les conclusions sont les suivantes :

- Le bassin d'amortissement est conforme aux règles usuelles suivant [8] et [9], donc supposé correctement dimensionné,
- Etant donné la grande hauteur d'eau aval (plus de 3 m), la vitesse estimée des courants transversaux est extrêmement faible.

D'autre part, le tracé et l'observation des nappes d'eau pour différentes ouvertures a permis de confirmer la position de l'impact du jet dans le bassin d'amortissement (Figure 4). En complément, la courbe de débit en fonction de l'ouverture du volet a été vérifiée sur la base de [10].

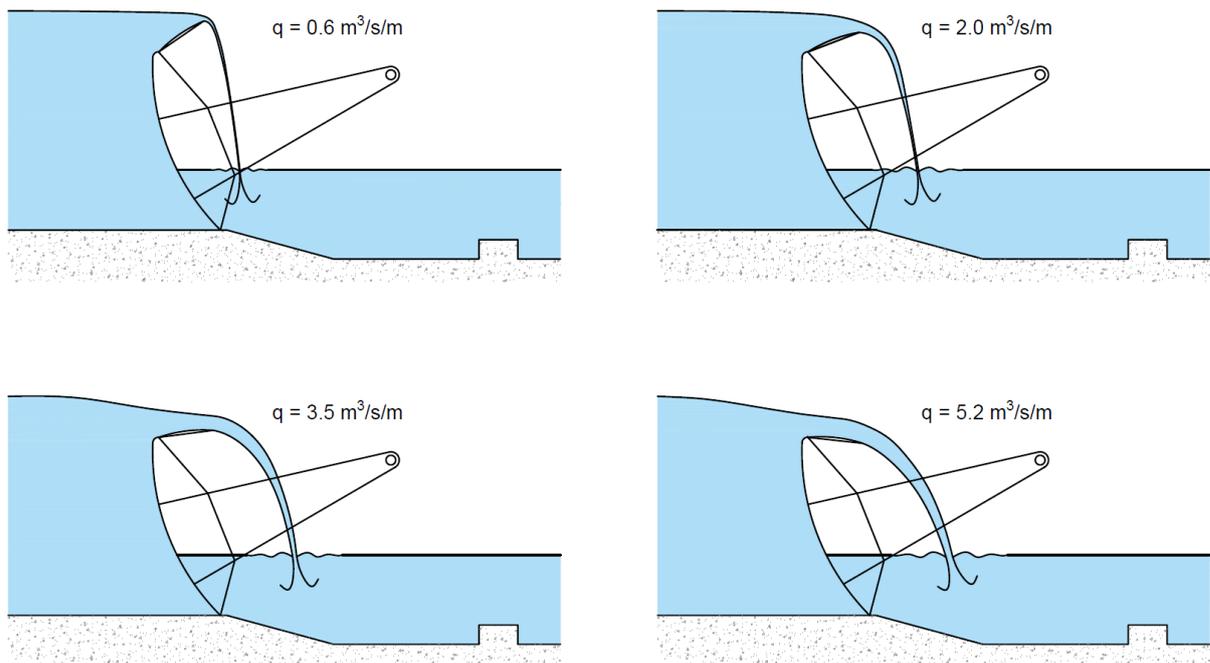


Figure 4 : Estimation des géométries des lames d'eau à différentes ouvertures

3. MESURES IN SITU

3.1. Instrumentation

Afin de connaître les variations de contraintes dans le voile vertical, des jauges de contraintes ont été installées sur ce dernier (Figure 5). Si l'idée peut paraître simple et évidente, la mise en œuvre l'est beaucoup moins, considérant l'environnement agressif (eau, turbulences, embâcles).

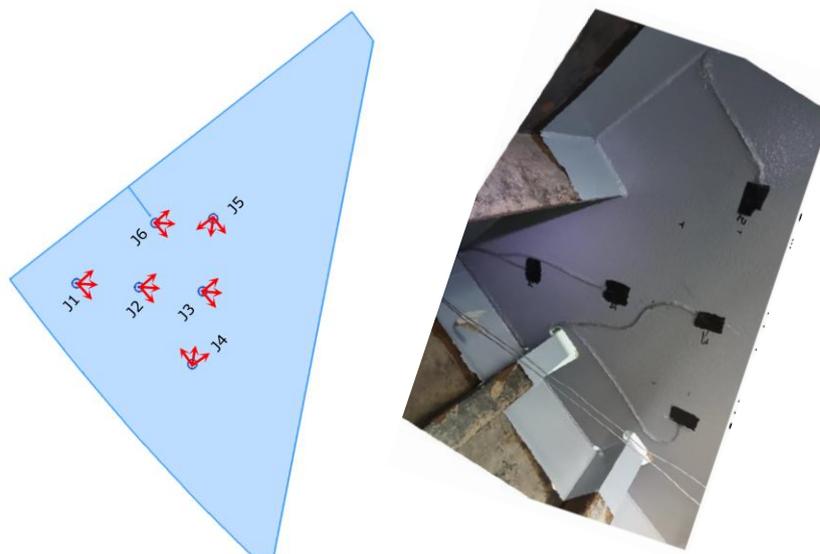


Figure 5 : Localisation des jauges de contraintes sur le voile vertical (photo sans J6)

Le but de l'instrumentation est de caractériser la sollicitation du voile vertical et de pouvoir déterminer le niveau de contraintes dans le voile et les modes propres qui sont excités. En parallèle de l'instrumentation, un modèle numérique du voile est réalisé.

Plusieurs campagnes de mesure sont prévues pour caractériser le comportement dans différentes conditions hydrauliques en faisant varier l'ouverture du volet, l'ouverture de la vanne, les niveaux amont et aval. Ces mesures, dépendantes des conditions hydrauliques, sont réalisées en fonction des contraintes d'exploitation. Cet exposé est une première étape d'analyse, sur la base des premières mesures.

3.2. Résultats

La première série de mesure a eu lieu avec des conditions qui pourraient être considérées comme étant les plus défavorables. En effet, les conditions hydrauliques étaient telles que le niveau aval était minimum et le niveau amont proche du maximum. Cette configuration maximise la chute, et donc l'énergie à dissiper dans le bassin d'amortissement. Par ailleurs, dans cette configuration, le volume d'eau contenu dans le bassin d'amortissement est minimal, ce qui pourrait, intuitivement, maximiser les fluctuations de pressions.

D'un point de vue fréquentiel, les résultats des mesures montrent une très bonne corrélation entre les résultats du modèle numérique et les fréquences propres en air du voile vertical. Le rapport entre la fréquence en air et en eau est cohérent par rapport à ce que l'on est en droit d'attendre pour ce type de panneau, complètement immergé. D'autre part, la première fréquence propre est prépondérante par rapport aux autres.

Mode	Mesures sur site		Modélisation
	En air	En eau	En air
1	31.7 Hz	7.8 Hz	32.8 Hz
2	55.2 Hz	Difficilement identifiable	55.7 Hz
3	70.0 Hz	Difficilement identifiable	70.7 Hz

Pour ce qui est des déformations, les amplitudes ont tendance à diminuer en fonction de l'ouverture du volet dans un premier temps et augmenter légèrement dans un deuxième temps (Figure 6).

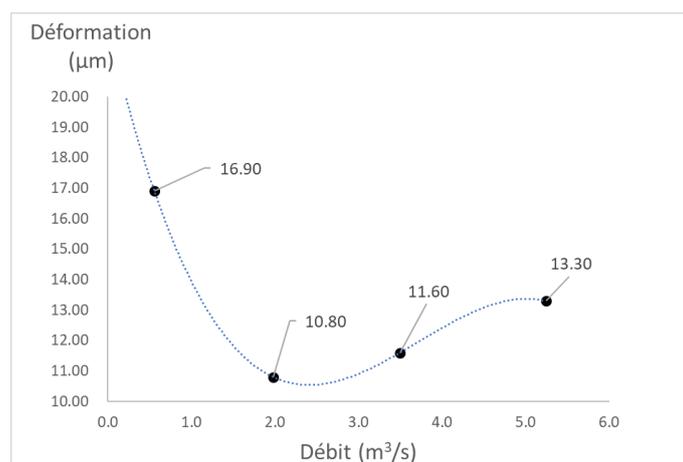


Figure 6 : Evolution des déformations en fonction de l'ouverture du volet

Le niveau de contrainte dans le panneau est relativement bas mais le poinçonnement du raidisseur amplifie très fortement, de manière prévisible, la contrainte localement. Le premier mode est excité de manière aléatoire, probablement par transmission des fluctuations de pressions du bassin d'amortissement.

Les contraintes mesurées pour la jauge la plus proche de la zone fissurée (J6 - Figure 5) montrent un niveau de contraintes maximum de l'ordre de 30 MPa crête-à-crête. Les jauges positionnées en milieu de panneau (J1, J2 - Figure 5) présentent un niveau de contraintes maximum inférieur à 5 MPa crête-à-crête.

4. MODELE EQUIVALENT

Les résultats des mesures ayant montré que le premier mode est prépondérant, un chargement équivalent a été défini sous la forme d'une pression uniforme appliquée au panneau. Ce chargement simple permet de définir les ratios de contraintes entre les points de mesures et le point d'analyse utilisé pour le calcul des endommagements (Figure 7). Le recalage du modèle simplifié, sur la base des contraintes maximales mesurées, avec toutes les difficultés inhérentes à cet exercice, permet de définir une pression uniforme de l'ordre de 0.12 mCE.

Ensuite, des blocs de chargement sont définis pour chaque ouverture par comptage des cycles en utilisant la méthode de la goutte d'eau suivant [11].

Finalement, les blocs de chargement sont combinés avec l'historique d'exploitation pour déterminer l'endommagement total depuis la mise en service suivant [12] et [13].

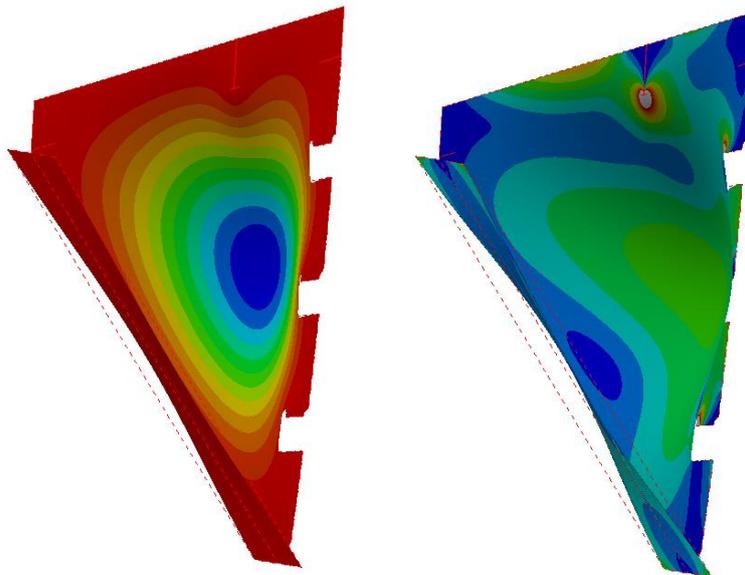


Figure 7 : Modèle numérique – Déformée et contrainte équivalente

Les résultats préliminaires des calculs montrent des endommagements assez importants (>10), pour la durée d'utilisation du volet, ce qui, de facto, confirme en partie le constat. Il faut néanmoins prendre ces résultats avec précaution, compte tenu de toutes les hypothèses et incertitudes intrinsèques à cette approche et basée sur une seule série d'essais. Le but du modèle équivalent, à ce stade, n'est pas de déterminer précisément les endommagements mais plutôt de déterminer une pression équivalente qui pourrait être utile à la résolution du problème.

On peut néanmoins émettre l'hypothèse que la fissuration est apparue rapidement induisant une réduction notable et rapide des contraintes locales. La propagation de la fissure a donc été, vraisemblablement, particulièrement lente.

5. CONCLUSION

Dans le cas d'évacuateurs de crues utilisés rarement, le dimensionnement à la fatigue par rapport à la charge hydrostatique principale ou par rapport au nombre de manœuvres n'est pas nécessaire. Pour les aménagements du Rhône, le nombre de cycles global, même en considérant des durées de vie importantes de l'ordre de 100 ans, est largement inférieur au nombre de cycle à partir duquel la fatigue doit être prise en compte.

Cette affirmation nécessite néanmoins quelques compléments. En effet, des phénomènes secondaires, principalement hydrauliques et difficilement caractérisables, peuvent conduire à faire vibrer l'ensemble ou certaines parties de la structure de la vanne. Ces vibrations doivent, à tout prix, être évitées en respectant les règles de l'art à la conception mais également en assurant une exploitation et une maintenance adéquate.

Il en découle que la conception du barrage mobile dans son ensemble, bassin d'amortissement et vanne, doivent être menés conjointement pour limiter les pulsations de pressions sur la vanne. La conception de la vanne, elle-même, doit être réalisée en tenant compte, notamment, des formes hydrauliques et des dispositions constructives pour les joints d'étanchéité. Les concepteurs doivent tout mettre en œuvre pour atteindre et maîtriser cet objectif.

Les conclusions préliminaires montrent que la cinétique des phénomènes observés est relativement faible et en accord avec le rythme des inspections. D'autre part, il est facilement démontrable qu'une fissure telle que celle présentée n'est pas nocive, la structure de la vanne présentant une résilience importante.

Sur la base des résultats préliminaires présentés, un critère sur les sollicitations pulsatoires des parties aval peut être pris en compte pour éliminer tout problème de fatigue. Ainsi, toute surface plane susceptible d'être soumise à l'effet pulsatoire du bassin aval doit être dimensionnée en tenant compte de cet effet et en se plaçant au-delà de la limite de troncature. On peut prendre, en première approche et à ce stade de l'étude, pour une configuration similaire, une pression uniforme conservative de l'ordre de 0.15 mCE pour cette vérification.

RÉFÉRENCES ET CITATIONS

- [1] DIN 19704 – Edition 2014, Constructions hydrauliques en acier
- [2] Vibrations des vannes des aménagements hydroélectriques, connaissances actuelles. Exemples industriels, La Houille Blanche, 1980, A. Josserand & D. Milan & G. Berthollon
- [3] Phénomènes vibratoires observés sur des vannes segments déversantes, La Houille Blanche, 1970, L. Lévin
- [4] Spillway gate vibrations on Arkansas rivers dams, Arkansas and Oklahoma, Technical report H-71-5, 1971, G.A. Pickering
- [5] Flow-induced vibration, 2001, R.D. Blevins
- [6] Flow-induced vibrations, 1994, E. Naudascher, D. Rockwell
- [7] Hydraulic gates and valves in Free Surface Flow and Submerged Outlets, 2001, Jack Lewin
- [8] Engineering Monograph N°25, Hydraulic design of stilling basins and energy dissipators, 1984, A. J. Peterka
- [9] Les profondeurs conjuguées du ressaut hydraulique, Guidrotechnitcheskoie Stroitelstvo, 1973, P.G. Kisselev
- [10] Hydrodynamic forces, 1991, E. Naudascher
- [11] Standard practices for cycle counting in fatigue analysis (E 1049 – 85), ASTM, 2005
- [12] Eurocode 3 - Calcul des structures en acier - Partie 1-9 : fatigue, 2005
- [13] IIW-1823-07, Recommendations for fatigue design of welded joints and components, 2008