

BULLETIN CIGB CONCERNANT LES BONNES PRATIQUES POUR ASSURER LA FIABILITE DES VANNES D'EVACUATEURS DE CRUES

ICOLD bulletin regarding Best Practices for Achieving Reliability of Flood Discharge Gates

Sylvain LOPEZ

Compagnie Nationale du Rhône, 2 rue André Bonin - 69316 LYON CEDEX 04

s.lopez@cnr.tm.fr

MOTS CLEFS

Vannes d'évacuateurs de crue, contrôle commande, alimentations électriques, sûreté hydraulique, risques, fiabilité, bonnes pratiques, conception, exploitation, maintenance

KEY WORDS

Flood discharge gates, control systems, electrical supply, dam safety, risks, reliability, good practices, design, operation, maintenance

RÉSUMÉ

Cet article présente le bulletin en cours de finalisation par le comité technique V de la CIGB concernant les « Bonnes pratiques pour assurer la fiabilité des vannes d'évacuateurs de crues ». L'objectif de ce bulletin est de :

- Fournir une référence concise pour les concepteurs, les fabricants, les développeurs, les Maitres d'Ouvrage et les Exploitants sur les différents aspects relatifs aux vannes d'évacuateurs de crue, pouvant avoir un impact potentiel sur la sûreté hydraulique et la sécurité du public ;

- Encourager les Maitres d'Ouvrage à travers le monde à évaluer régulièrement la fiabilité de leurs vannes d'évacuateur de crues ;

- Fournir des informations et conseils pratiques sur les :

o Les principaux avantages et inconvénients des types de vannes d'évacuateurs de crue les plus utilisées ;

o Les principes de fiabilité et les méthodes couramment utilisées pour évaluer la fiabilité des vannes ;

o Les dispositions potentielles qui peuvent améliorer la fiabilité de l'ensemble du système « vanne, actionneur, contrôle commande, alimentation électrique ».

Le bulletin aborde également les bonnes pratiques d'exploitation et de maintenance des équipements de barrages, les inspections et essais réguliers à réaliser, ainsi que l'accidentologie dans le domaine des vannes de barrages.

Ce bulletin est rédigé par des représentants de 16 pays. Un groupe miroir du CFBR a été mis en place, avec des experts français du domaine des équipements de barrages, pour en effectuer une relecture durant le premier semestre 2022 et partager les pratiques françaises dans le domaine de la sûreté des vannes de barrages.

ABSTRACT

This article presents the bulletin currently being finalized by ICOLD Technical Committee V regarding "Good practices for ensuring the reliability of dams spillway gates". The objective of this bulletin is to:

- Provide a concise reference for designers, manufacturers, developers, owners and operators on the various aspects relating to spillway gates, which may have a potential impact on flooding and public safety ;

- Encourage dams owners around the world to assess regularly the reliability of their spillway gates;

- Provide information and practical advice on :

o The main advantages and disadvantages of the most used types of spillway gates;

o Reliability principles and methods commonly used to assess valve reliability;

o Potential arrangements which can improve the reliability of the entire system composed of "gate, actuator, control system, power supply".

The bulletin also addresses good operating and maintenance practices for dam equipment, regular inspections and tests to be carried out, as well as accidentology in the field of dam gates.

This bulletin is written by representatives from 16 countries. In addition, a CFBR mirror group was set up, with French experts in the field of dam equipment, to review the bulletin for the first half of 2022 and share French practices in the field of dam gates reliability.

1. OBJET

Cet article présente certains chapitres du bulletin en cours de finalisation par le comité technique V de la CIGB concernant les bonnes pratiques pour assurer la fiabilité des vannes d'évacuateurs de crues.

L'objectif de ce bulletin est de proposer une référence concise aux concepteurs, fabricants, développeurs, maîtres d'ouvrages et exploitants sur les différents aspects qui ont un impact sur la sûreté de fonctionnement des vannes d'évacuation des crues, et qui peuvent avoir par conséquent un effet sur la sécurité publique. Le Bulletin s'applique aussi bien aux équipements nouveaux qu'aux équipements existants et anciens.

Les risques liés aux vannes d'évacuateur de crues sont en général augmentés par le fait qu'il n'existe pas de position sûre pour ces vannes. Le danger existe que la vanne soit en position fermée, ouverte ou intermédiaire. Une ouverture involontaire un jour ensoleillé peut être tout aussi mortelle qu'une absence d'ouverture lors d'une crue.

Ainsi, l'objectif principal de ce bulletin est d'encourager les maîtres d'ouvrages à entreprendre, à fréquence régulière, des évaluations complètes de la fiabilité de leurs évacuateurs de crues vannés.

Bien que la plupart des principes décrits dans ce bulletin s'appliquent à tous les types de vannes d'évacuation des crues, le bulletin se concentre sur les vannes des évacuateurs de surface. Il aborde les vannes elles-mêmes, les actionneurs, les systèmes de contrôle commandes, les alimentations électriques et les pièces de guidage des vannes (pièces fixes).

Il ne traite pas des ouvrages génie civil au-delà des pièces fixes, ni du sujet de la capacité de débit. Il exclut également les ouvrages statiques telles que les déversoirs en labyrinthe et les ouvrages non permanents tels que les hausses fusibles.

Il propose enfin une présentation de plusieurs études de cas d'incidents et de ruptures de barrages dans lesquelles les vannes d'évacuateur de crue ont contribué à la rupture.

2. TYPES DE VANNES ET D'ACTIONNEURS

Les principaux objectifs de ce chapitre sont les suivants :

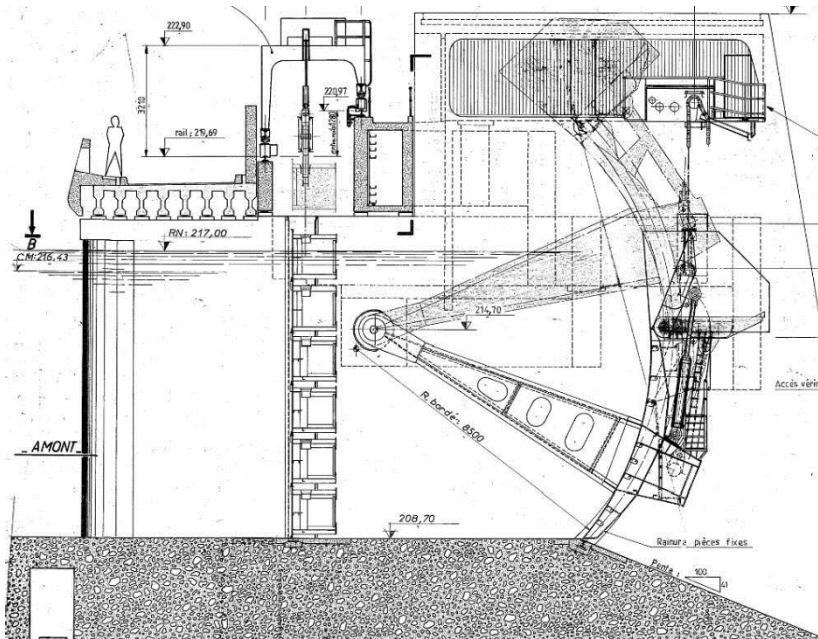
- lister les principaux types de vannes et les organes de manœuvre qui sont couramment utilisés sur les barrages du monde entier ;
- proposer une description générale et énumérer les principales fonctions de chaque type de vanne et de chaque type d'organe de manœuvre ;
- décrire les avantages, les inconvénients et les problématiques de fiabilité inhérentes à chaque type d'équipement ;
- formuler des remarques générales sur les aspects à prendre en compte lors du choix du type de vanne lors de la phase de conception d'un projet, comprenant notamment la fonction de la vanne, l'utilisation qui est prévue, l'exploitation et la maintenance.

Il convient également de noter que certains des types de vannes décrits dans ce chapitre :

- peuvent être désignés par une terminologie différente selon les régions du monde ;
- ont été utilisés dans le passé ; ne sont plus fabriqués mais sont encore en service sur certains barrages.

Famille de Vanne	Type de Vanne	Emplacement Possible		Fonction				
		Evacuateur de surface	Evacuateur immergé	Vanne de maintenance	Vanne de Sécurité	Gestion des Crues	Régulation (niveau du réservoir, débit)	Gestion des Débris Flottants
Vannes avec axe de rotation en aval	Vanne radiale	●	●			●	●	
	Vanne secteur	●				●	●	●
Vannes avec axe de rotation en amont	Vanne avec axe de rotation en amont	●				●	●	
Vannes avec axe de rotation en bas	Vanne à tambour	●				●	●	●
	Clapet	●				●	●	●
	Clapet gonflable	●				●	●	●
	Barrage gonflable	●				●		
Vannes glissantes verticales	Batardeau	●	●	●				
	Vanne à glissière	●	●	●	●	●	●	
Vannes roulantes verticales	Vanne wagon	●	●	●	●	●	●	
	Vanne Stoney	●		●	●	●	●	
Vannes rotatives	Vanne à rouleaux	●				●	●	●

Figure 1 : Types de vannes et leurs principales fonctions



Pour exemple, dans le cas d'une vanne segment, les principaux avantages et inconvénients sont répertoriés ainsi dans le bulletin :

Principaux avantages	Principaux inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Conception structurelle efficace permettant des structures de grande taille avec des capacités de débit élevées ; - Résistance minimale au frottement pendant la manœuvre - Bonnes caractéristiques de débit hydraulique ; - Vitesse de manœuvre relativement rapide et exploitation efficace ; - Différentes options possibles pour les actionneurs (vérins hydrauliques, treuils à câbles ou à chaînes) ; - Les surfaces d'étanchéité latérales et de seuil affleurantes minimisent les pertes hydrauliques, l'accumulation de glace et l'accrochage potentiel de débris ; - La force de levage nécessaire pour la manœuvre est modeste (les points de levage étant éloignés des tourillons, cela permet de disposer d'un bras de levier) ; - La forme radiale du tablier permet un transfert efficace des charges hydrostatiques au génie civil à travers les tourillons ; - En général, le coût de fabrication est compétitif par rapport aux autres technologies de vannes ; - Disponibilité d'un retour d'expérience important dans leur utilisation et leurs performances. 	<ul style="list-style-type: none"> - Les charges hydrostatiques sont concentrées au niveau des tourillons, ce qui nécessite de longs bajoyers et des travaux de génie civil coûteux ; - Sensibilité au froid avec risque de formation de glace sur la structure et les bras de la vanne, pouvant perturber le fonctionnement ; - Risques de problèmes de graissage des paliers des tourillons entraînant une augmentation des frottements ; - Entretien de l'équipement de levage parfois peu aisé (câbles métalliques ou chaînes gâllés difficiles d'accès) ; - La manœuvre nécessite une alimentation électrique très fiable ; - A faible ouverture, le passage de gros débris sous la vanne peut endommager le seuil et le joint d'étanchéité inférieur ; - En cas de mauvais fonctionnement de la vanne, risque de surverse pour lequel la vanne n'a pas été conçue ; - Risque de drainage insuffisant sur les profilés situés en aval du bordé, entraînant la corrosion des éléments.

Figure 2 : Principaux avantages et inconvénients des vannes segment

Le bulletin décrit et compare également les différents actionneurs qui équipent généralement les vannes de barrages.

Famille de Vanne	Type de Vanne	Principaux types d'actionneurs possibles							
		Palans électromécaniques					Manoeuvrées à l'eau	Manoeuvrées à l'air	Manoeuvrées manuellement
		Câbles	Chaines	Vérins Hydrauliques	Tiges Filetées	Grues Portiques			
Vannes avec axe de rotation en aval	Vanne radiale	●	●	●	●				●
	Vanne secteur				●		●		
Vannes avec axe de rotation en amont	Vanne avec axe de rotation en amont						●		●
Vannes avec axe de rotation inférieure	Vanne à tambour						●		
	Clapet	●	●	●	●		●		●
	Vanne gonflable							●	
	Barrage gonflable						●	●	
Vannes glissantes verticales	Batardeau	●				●			●
	Vanne à glissière			●	●				●
Vannes roulantes verticales	Vanne wagon	●	●	●	●	●			●
	Vanne Stoney	●							●
Vannes rotatives	Vanne à rouleaux	●	●						

Figure 3 : Types d'actionneurs possibles par type de vannes

3. ALIMENTATIONS ELECTRIQUES ET CONTRÔLE COMMANDE

L'objectif de ce chapitre est de fournir dans le bulletin une description des systèmes d'alimentation et de contrôle commande les plus couramment utilisés et de fournir des conseils sur la conception et la mise en œuvre de ces systèmes. Pour permettre aux vannes d'un évacuateur de crues de faire passer une crue en toute sécurité, les systèmes d'alimentation et de contrôle commande doivent être très fiables. Une attention particulière doit également être accordée aux facteurs humains afin d'éviter les erreurs de manipulation ou toute confusion pendant les situations de crises ou de stress. Les systèmes de contrôle commande des vannes doivent également être conçus en tenant compte des bonnes pratiques relatives à la cybersécurité afin d'éviter les cyberattaques qui pourraient avoir un impact sur le fonctionnement des vannes et provoquer des inondations.

La figure ci-dessous montre un exemple d'architecture typique d'un système de contrôle d'une vanne de barrage.

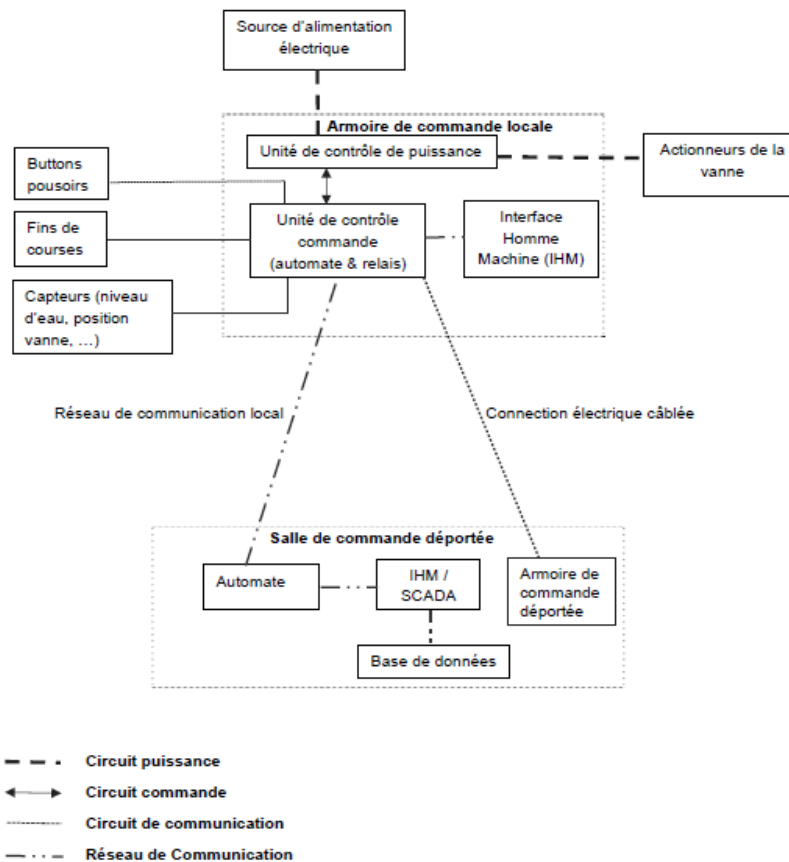


Figure 4 : Architecture type d'un système de commande d'une vanne de barrage

Il existe de nombreuses variantes de cette architecture en fonction des conditions spécifiques du site et/ou des exigences de l'utilisateur final. La conception de l'architecture du système de contrôle commande et des modes de contrôle ultérieurs doivent tenir compte des facteurs suivants :

1. Modes de fonctionnement des vannes
2. Exigences spécifiques de l'utilisateur final
3. Nécessité d'un contrôle centralisé de plusieurs vannes
4. Intégration des mesures transmises par des capteurs déportés et/ou d'autres systèmes de contrôle commande de l'évacuateur de crues
5. Exigences en matière de surveillance et/ou de contrôle à distance
6. Niveau d'automatisation requis
7. Risque de cyberattaques.

4. NORMES

Ce chapitre du bulletin contient des lignes directrices et des recommandations sur les normes internationales disponibles concernant les vannes de barrage ; il aborde également les obligations de l'ingénieur en ce qui concerne la spécification de normes appropriées pour la conception des vannes d'évacuateurs de crue et de leurs actionneurs.

Historiquement, de nombreuses spécifications d'équipements hydromécaniques contenaient de simples déclarations telles que "les vannes doivent être fiables". Il s'agit d'une déclaration inadéquate, car elle n'a pas de sens et ne pourrait pas être défendue légalement. De même, une spécification telle que "la durée de vie de l'équipement sera de 50 ans" ne garantit pas un niveau de fiabilité acceptable.

Historiquement, la règle officieuse "N+1" est souvent appliquée. Ainsi, si l'on calcule que 4 vannes sont nécessaires de point de vue de la capacité hydraulique, on en spécifie 5 dans l'intention d'introduire une redondance. Il est clair que la redondance réduira la probabilité de dysfonctionnement du barrage associée à une vanne individuelle, mais la règle "N+1" n'est pas scientifique et ne démontre pas que la solution de conception finale offre un niveau de fiabilité adéquat. Elle n'aborde pas non plus les problèmes liés aux dysfonctionnements d'origine commune.

De nombreux ingénieurs ont appliqué le principe de la "liste de courses" et exigent, sur la base de leur expérience, un certain nombre d'exigences fonctionnelles redondantes. Ces caractéristiques redondantes peuvent inclure des actionneurs de secours, des alimentations électriques et/ou des capteurs redondants. Bien que la redondance améliore la fiabilité, il ne suffit pas d'utiliser une liste générique pour supposer que la fiabilité sera suffisante.

Les situations et les circonstances spécifiques de chaque évacuateur de crue et de chaque contexte déterminent si une conception est appropriée. Il convient donc de tenir compte d'un certain nombre d'éléments dès la conception, puis d'évaluer la fiabilité de la conception.

Dès la conception, l'ingénieur doit considérer les risques associés à une éventuelle mauvaise utilisation de l'équipement, et :

- Eviter les risques qui peuvent être évités ;
- Réduire ceux qui ne peuvent être évités afin qu'ils soient aussi faibles que raisonnablement possible ;
- Protéger le personnel et gérer les risques restants ;
- Consigner les résultats de leur évaluation des risques afin que toutes les parties soient conscientes des risques à gérer.

Parmi la liste (non exhaustive) des normes citées dans le bulletin, on trouve les normes suivantes :

- DIN 19704-2014 "Structures hydrauliques en acier" (disponible en allemand et en anglais)
- EN 1990:2002 "Eurocode – Bases de calcul des structures"
- IEEE 1827-2016 "IEEE Guide for Electrical and Control Design of Hydroelectric Water Conveyance Facilities" (disponible en anglais)
- Référentiel de l'USACE (corps des ingénieurs de l'armée américaine) (disponibles en anglais), notamment :
 - EM 1110-2-2702 Design of Spillway Tainter Gates, janvier 2000
 - EM 1110-2-2701 Vertical Lift Gates, 30 novembre 1997
 - ETL 1110-2-584 Conception des structures hydrauliques en acier
 - EM 1110-2-2610 Conception mécanique et électrique des équipements d'exploitation des écluses et des barrages, 30 juin 2013
- NBR 8883- Brésil "Calcul et fabrication des vannes hydrauliques" (disponible en portugais)

5. RISQUES ET FIABILITE

5.1.Principes généraux

Ce chapitre fournit un aperçu et des conseils relatifs à plusieurs méthodes d'évaluation des risques liés au fonctionnement des vannes d'évacuateurs de crues.

Il s'avère nécessaire de procéder à des évaluations de risques afin d'examiner la fiabilité des équipements hydromécaniques tout au long de leur cycle de vie, y compris durant la conception en phase avant-projet, durant le développement du projet, la conception détaillée, la fabrication, le montage et, enfin, l'exploitation et la maintenance.

Les évaluations de risques doivent être menées par des personnes ayant une connaissance théorique et pratique des domaines techniques concernés et inclure des parties prenantes à l'exploitation et à la maintenance du barrage ayant une bonne connaissance des concepts de fiabilité sous-jacents.

Le processus d'évaluation des risques doit être documenté et mis à disposition pour être actualisé tout au long des cycles de conception, de construction, d'exploitation et de maintenance.

Il existe différentes méthodes d'évaluation des risques, avec notamment de la moins détaillée à la plus détaillée :

1. L'analyse simplifiée des risques, par l'Analyse des Modes de DEfaillance et de leurs Criticités (AMDEC) ou l'étude de danger et d'opérabilité (HAZOP - HAZard and OPerability study) ;
2. L'évaluation qualitative ;
3. L'analyse semi-quantitative ;
4. L'analyse quantitative détaillée.

Un certain nombre de facteurs doivent être pris en compte pour déterminer le niveau réel des risques pour un ouvrage vanné. Le facteur crucial est la criticité des vannes pour la sécurité du barrage et de ses parties prenantes, et donc le niveau de fiabilité requis pour le fonctionnement des vannes.

Une analyse de risques rigoureuse d'un évacuateur de crue vanné permet de :

1. Aider à définir l'ensemble de équipements de l'évacuateur vanné, depuis les données d'entrée en avant-projet jusqu'à l'exploitation et à la maintenance de la vanne ;
2. Fournir une évaluation de la probabilité de dysfonctionnement des vannes ;
3. Fournir une description systématique des risques et de leurs conséquences potentielles ;
4. Identifier les composants essentiels à un fonctionnement fiable du système ;
5. Fournir une base pour le développement de procédures sûres et efficaces pour l'exploitation et/ou la surveillance du système.

En France, les études de dangers telles que prévues par la réglementation se réfèrent explicitement à l'analyse de risques et aux méthodes de la sûreté de fonctionnement associées. L'approche la plus fréquemment utilisée en France est l'analyse des risques semi-quantitative. Cette méthodologie est décrite dans l'ouvrage du CFBR intitulé « Pratiques françaises de l'analyse de risques et d'évaluation de la sûreté des barrages » datant de juin 2020. Elle est rappelée dans le bulletin.

5.2. Importance de la phase de conception

Le Health and Safety Executive britannique a entrepris une étude sur les causes principales des dysfonctionnements des systèmes de commande des machines (HSE, 2001). Ils ont conclu que les dysfonctionnements étudiés étaient causés aux différentes étapes de la phase du cycle de vie selon la répartition suivante :

- 44% : Cahier des charges
- 15 % : Conception et mise en œuvre
- 6 % : Installation et mise en service
- 15 % : Exploitation et maintenance
- 20 % : Changements après la mise en service

Ce résultat est instructif car il implique que (dans les limites de l'étude) plus de la moitié des dysfonctionnements prennent leur source dans les étapes qui ont précédés la mise en service. Bon nombre des défaillances préjudiciables à long terme peuvent être attribuées à une mauvaise conception, à une mauvaise sélection des matériaux, etc. Les germes d'une bonne ou d'une mauvaise fiabilité sont souvent présents dès le départ.

5.3. Importance du facteur humain

Lors de la conception et de l'utilisation d'équipements et de machines au sens large, l'effet des facteurs humains doit être pris en considération. Les risques liés aux personnes sont souvent appelés "risques mous" parce qu'il est difficile d'établir des statistiques précises.

Les risques associés aux personnes sont causés par :

- le fait que les êtres humains sont faillibles, qu'ils font des faux pas, des omissions et des erreurs ;
- le manque de formation ou de compréhension de la situation ou de l'équipement à contrôler ;
- les relations, parfois mauvaises, avec d'autres personnes ou groupes.

Les personnes sont souvent envisagées comme moyen d'intervention principale en cas de besoin d'intervention sur des ouvrages vannés. Cependant, si l'événement envisagé est une inondation de probabilité 1/10 000, dans quelle mesure le Maître d'Ouvrage peut-il garantir que les effectifs nécessaires seront disponibles au moment voulu ?

Le bulletin indique de bonnes pratiques pour limiter l'influence du facteur humain, comme par exemple :

- Une seule personne responsable au sommet de la hiérarchie pour les questions de sécurité des barrages ;
- Une équipe dirigeante équilibrée, tant sur le plan des compétences que sur celui de la parité hommes-femmes, dont il a été démontré qu'il permettait de prendre de meilleures décisions ;
- Éviter de récompenser l'absence d'incidents et d'accidents enregistrés, car cela encourage la non-divulgation. Il convient plutôt d'encourager et de célébrer les occasions de tirer les leçons de l'expérience ;
- La "non-punition" des erreurs ;
- L'encouragement d'un dialogue ouvert, honnête et respectueux entre collègues de travail, sans dépendre de la place qu'ils occupent dans la hiérarchie de l'organisation. Il est important que les incidents puissent faire l'objet d'une enquête et d'un rapport sans mettre la carrière des personnes en danger.

- La préparation de procédures d'exploitation et de maintenance claires et partagées avec tout le personnel d'exploitation et de maintenance et les opérateurs ;
- La réalisation d'essais réguliers en conditions réelles ;
- La disponibilité d'une équipe avec suffisamment de personnes qualifiées et organisées pour réagir en cas d'urgence.

6. PRINCIPES DE BONNES PRATIQUES

Le bulletin présente des bonnes pratiques permettant de renforcer la sûreté des vannes d'évacuateurs de crue, au stade de la conception, comme au stade de l'exploitation et de la maintenance.

Quelques principes de bonnes pratiques dans le domaine de la maintenance sont listés ci-après, pour exemple :

- L'inspection des vannes et des équipements auxiliaires doit être effectuée régulièrement et par des personnes qualifiées et familiarisées avec l'équipement spécifique. Le personnel d'exploitation devrait être impliqué.
- Des pièces de rechange doivent être disponibles chez l'exploitant pour les composants qui, en cas de panne, pourraient réduire considérablement la fiabilité du système ou affecter de manière significative son fonctionnement.
- Les programmes de maintenance doivent être documentés dans un système de gestion de la maintenance assisté par ordinateur. Les dossiers doivent être tenus à jour et modifiés si nécessaire lorsque des travaux ou remplacements d'équipement sont réalisés.
- Les incidents inhabituels ou les problèmes de fonctionnement doivent être enregistrés de telle manière que le personnel de maintenance puisse les retrouver et prendre les mesures correctives nécessaires.

De même, des bonnes pratiques sont proposées dans le domaine de la cybersécurité et sont listées ci-après, pour exemple :

- Il est recommandé de ne pas connecter le système de contrôle commande des vannes de barrages à Internet et de limiter tous les accès externes au système de contrôle via les ports USB et les réseaux.
- Cependant, pour les systèmes de contrôle commande de vannes qui seraient d'ores et déjà connectés à Internet et pour ceux dont il sera jugé nécessaire qu'ils le soient, des stratégies d'atténuation des cyberattaques telles que les suivantes doivent être envisagées :
 - Installer plusieurs pare-feux entre le réseau de contrôle commande et la connexion Internet ;
 - Utiliser des authentifications utilisateurs à deux niveaux de mots de passe pour l'accès à distance ;
 - Séparer le réseau automates du réseau d'entreprise ;
 - Installer l'historisation des données et les serveurs de communication (le cas échéant) sur un réseau séparé du réseau de contrôle-commande avec un pare-feu séparé entre les deux réseaux ;
 - Mettre à jour régulièrement le logiciel antivirus ;
 - Installer/configurer la détection d'intrusions sur le pare-feu et relier celle-ci à la fonction d'alarme du système de contrôle commande des vannes de barrages.

7. INCIDENTS ET RUPTURES

Le bulletin liste également une cinquantaine d'incidents et ruptures sur des barrages à travers le monde dus à des dysfonctionnements des vannes d'évacuateurs de crue ou de leurs équipements auxiliaires. L'objectif d'un tel chapitre est d'illustrer le fait que les conséquences d'un problème de conception, d'exploitation ou de maintenance de vannes de barrage peuvent être critiques, et se traduire directement par une problématique de sûreté hydraulique du barrage.

L'un des exemples de rupture mentionné dans le bulletin concerne le barrage du lac Delhi (aux Etats Unis) qui a été construit entre 1922 et 1929 et qui s'est rompu en 2010. Il s'agit d'un barrage en terre de faible hauteur (18 m) avec un évacuateur de crue en béton doté de trois vannes plates. Chaque vanne mesure 5,1 m (h) x 7,6 m (l) et est actionné par un treuil électrique et câbles métalliques. L'équipement de contrôle commande des trois vannes est d'origine et date de 1929. Cependant, certaines améliorations électriques avaient été apportées et les câbles métalliques avaient été remplacés sur la vanne 3 avant l'inondation.

Le 24 juillet 2010, la digue sud du barrage de Delhi s'est rompue ; cette rupture étant associée à des précipitations d'environ 250 mm en 12 heures. Avant la rupture, le niveau de la rivière en amont du barrage avait atteint 7,38 m, soit 3 m au-dessus du niveau de crue, et le débit était de 700 m³/s. Pendant la période de crue, seules deux des trois vannes ont pu être ouvertes et la digue a ensuite débordé, entraînant sa rupture sur une longueur d'environ 60 m. En aval du barrage, 8000 habitants des villes de Monticello et Hopkinton avaient été évacués.

Les inspections annuelles précédentes avaient permis d'identifier des problèmes de manœuvre des vannes et de recommander des réparations. Les vannes étaient difficiles à manœuvrer dans le passé ; parfois, elles se bloquaient dans les petites ouvertures ou en position fermée. Lors des inondations qui ont précédé la crue du 24 juillet 2010, une grue avait été utilisée pour actionner les vannes. Lors de la crue du 22 au 24 juillet, les vannes n°1 et 2 ont été complètement ouvertes mais la vanne n°3 n'a pu être ouverte que de 1,8 m, ce qui a entraîné une réduction significative de la capacité de l'évacuateur de crue. Une photo des trois vannes après la rupture du barrage est présentée ci-dessous.



Figure 5 : Vue générale du barrage du lac Delhi, États-Unis (2010) après rupture



Figure 6 : Vue amont de l'évacuateur de crue du barrage du lac Delhi après rupture montrant les vannes n°1 et 2 ouvertes et la vanne n°3 en position presque fermée

8. CONCLUSIONS

Les vannes d'évacuateur de crue de barrages ainsi que leurs actionneurs, leurs systèmes d'alimentation électrique et de contrôle-commande jouent un rôle fondamental dans la sûreté hydraulique des barrages et dans la maîtrise des débits transférés en aval. A ce titre, tous les aspects de la conception jusqu'à l'exploitation et la maintenance d'une vanne doivent être considérés avec le plus grand soin et avec toute l'expertise nécessaire.

Ce bulletin a été rédigé dans le but principal d'encourager les Maitres d'Ouvrages à entreprendre des évaluations complètes de la fiabilité de l'ensemble de leurs évacuateurs de crue vannés, à chaque étape et à fréquence régulière durant la vie de leur barrage.

REMERCIEMENTS

Remerciement à tous les auteurs du bulletin qui sont : Jerry Westermann (Hatch - Canada), Andreas Halvarsson (WSP - Suède), Russ Digby (Kgal – Royaume Unis), Thimoty Paulus (USACE – USA), Ian Landon-Jones (Australie), Bachir Akalay (Maroc), Aleksander Kozyrev (Russie), Philip Kotrba (Poyry – Autriche), Hiroki Yamamoto (Yachiyo Engineering - Japon), Rudolf Van Wyk (Aecom – Afrique du Sud), Kaivan Kavianpour (Fanavary Novin Niroo – Iran), Bryan Leyland (Nouvelle Zélande), Paulo Erbisti (Brésil).

Remerciement également aux membres du groupe miroir du CFBR qui a effectué une relecture du bulletin en 2022 et a apporté ses précieux conseils : Julien Arthaud (Artelia), Sébastien Aubry (CNR), Denis Reilhac (CNR), David Graveleine (EDF), François Bouillet (EDF), Christophe Morin (EDF), Philippe Bryla (EDF), Renaud Pollier (EDF), Vincent Quemerais (EMI), Nicolas Crocheton (Tractebel).