HAL
open science

De la performance des évacuateurs de crues dans les études de dangers à la probabilité d'occurrence d'une rupture de barrage en crue

François Masse, Anabel Lahoz, Thibault Balouin

To cite this version:

François Masse, Anabel Lahoz, Thibault Balouin. De la performance des évacuateurs de crues dans les études de dangers à la probabilité d'occurrence d'une rupture de barrage en crue. Colloque CFBR "Vantellerie, contrôle-commande, télécom et alimentations électriques pour des barrages plus sûrs", Dec 2015, Chambéry, France. ineris-01855185

HAL Id: ineris-01855185

https://ineris.hal.science/ineris-01855185v1

Submitted on 4 Sep 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

DE LA PERFORMANCE DES EVACUATEURS DE CRUES DANS LES ETUDES DE DANGERS A LA PROBABILITE D'OCCURRENCE D'UNE RUPTURE DE BARRAGE EN CRUE

From the spillways performance in safety reports to the probability of dam break

François Massé[1], Anabel Lahoz, Thibault Balouin
INERIS - Parc Technologique Alata BP2 60550 Verneuil-en-Halatte
francois.masse@ineris.fr, anabel.lahoz@ineris.fr, thibault.balouin@ineris.fr

MOTS CLÉS

Barrage, Evacuateur de crues, Etude de dangers, Probabilité, Sûreté de fonctionnement, Niveau de confiance.

RÉSUMÉ

La réglementation relative à la sécurité des ouvrages hydrauliques définit des classes d'ouvrages pour les barrages et les digues et des obligations associées. Parmi celles-ci, les Études de Dangers (EDD) sont requises pour les barrages de catégories A et B. Une EDD est une évaluation, à un instant donné, du niveau de risque (caractérisé en probabilité d'occurrence et en gravité des conséquences) que l'ouvrage fait peser sur son environnement.
L'INERIS a réalisé une étude dont l'objectif est de valoriser les connaissances existantes sur l'évaluation des performances des dispositifs de sécurité, afin d'intégrer les performances des évacuateurs de crues (EVC) à l'évaluation semi-quantitative de la probabilité de rupture des barrages en crue réalisée dans les EDD. L'étude s'appuie sur l'état de l'art relatif à la prédétermination des crues et aux caractéristiques des EVC. Les différents types d'évacuateurs ont été évalués suivant les critères utilisés habituellement pour les barrières de sécurité : temps de réponse, dimensionnement adapté, niveau de confiance et maintien dans le temps. Le contenu détaillé de l'évaluation a été adapté aux spécificités des évacuateurs de crues. Le niveau de confiance permet d'assigner une classe de probabilité de défaillance à la demande à partir d'une évaluation technique et qualitative. La défaillance des évacuateurs de crues étant généralement considérée comme un événement initateur dans une EDD, cette classe de probabilité a été traduite en fréquence annuelle. Ces éléments permettront donc de caractériser la probabilité d'occurrence d'une rupture de barrage en crue.

ABSTRACT

French regulation for dams safety defines dam classes and related requirements. Among those requirements, safety reports are mandatory for dams of classes A and B. A safety report is the evaluation of the risk level (in probability and severity) that the structure poses on its environnement at a given time. INERIS has adapted existing methodologies about safety systems evaluation. The aim is to use spillways performance in order to assess the semi-quantitative probability of dam break due to a flood in safety reports. This work is based on the state of the art regarding flood predetermination and spillways conception and management. Differents types of spillways have been evaluated according to the requirements in use for the safety barrier : response time, sizing, efficiency, confidence level and maintenance over time. The confidence level permits to assign a probability of failure on demand class to a safety barrier through a technical and qualitative evaluation. As the spillways failures are considered as root events in a bow-time diagram, the confidence level has been translated in annual frequency. Those different datas are used to calculate a probability of dam break due to a flood.

[1]Auteur correspondant

1. LES EVACUATEURS DE CRUE DANS LES ETUDES DE DANGERS

1.1 Probabilités d'accidents potentiels

L'arrêté du 12 juin 2008 [1] définissant le plan de l'étude de dangers des barrages et des digues et en précisant le contenu, revient dans son chapitre 8 sur l'identification et caractérisation des risques en termes de probabilité d'occurrence, d'intensité et de cinétique des effets, et de gravité des conséquences. *« L'étude de dangers s'appuie sur une analyse de risques permettant d'identifier les causes, les combinaisons d'événements et les scénarios susceptibles d'être, directement ou par effet domino, à l'origine d'un accident important. Chaque accident potentiel est caractérisé par sa probabilité d'occurrence, l'intensité et la cinétique de ses effets et la gravité des conséquences pour la zone touchée. En synthèse, les différents scénarios d'accident sont positionnés les uns par rapport aux autres en fonction de leur probabilité d'occurrence et de la gravité des conséquences, évaluée en termes de victimes humaines potentielles et de dégâts aux biens, en mettant en évidence les scénarios les plus critiques ».*

Les accidents potentiels sont sélectionnés sur la base d'une analyse de risques, spécifique au barrage étudié. Parmi les accidents sélectionnés, la rupture de barrage pour cause d'arrivée d'une crue en amont (désignée dans la suite de l'article comme « rupture de barrage en crue ») fait partie des événements générant les effets les plus critiques. L'occurrence d'un tel événement dépend notamment des performances du ou des systèmes évacuateurs de crue dont l'ouvrage est équipé. La défaillance de ces évacuateurs est donc un point crucial dans l'évaluation de la probabilité de l'accident associé.

1.2 Rupture de barrage en crue

Le scénario de rupture de barrage en crue peut survenir lorsque la côte du barrage dépasse une cote de danger dans une situation de crue. Cette cote de danger (CD) doit être établie de manière conservative pour que le risque de rupture à une cote inférieure à la cote de danger soit négligeable (ou extrêment faible).

La probabilité d'accident sera évaluée en considérant la cote de danger établie, la période de retour de différents scénarios de crues, des débits évacuables par les dispositifs EVC dans leur fonctionnement nominal, défaillant ou dégradé et des probabilités d'occurrence liées à des fonctionnements défaillants ou dégradés. Les différents scénarios d'atteinte de la cote de danger sont :

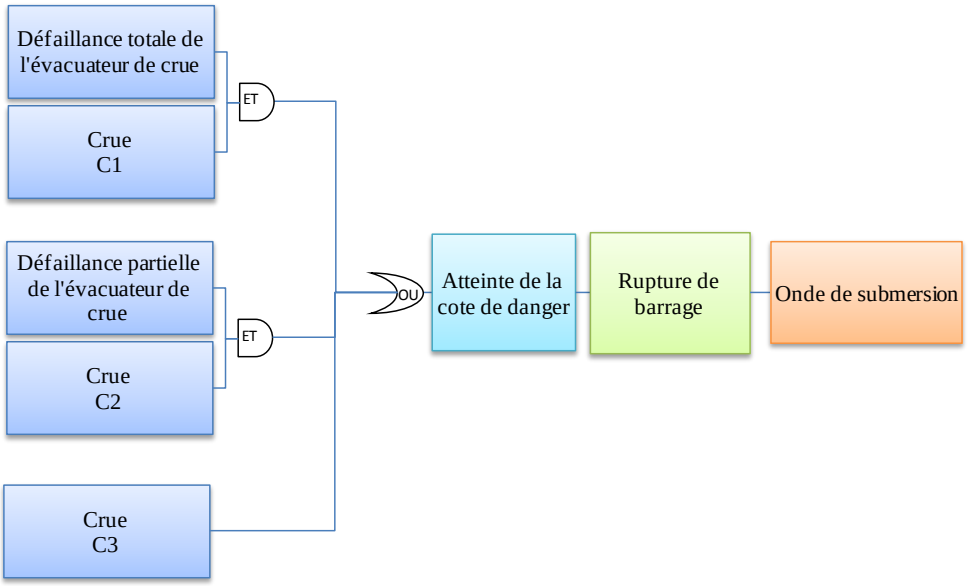
- Défaillance totale de l'évacuateur : en présence d'une crue inférieure ou égale au dimensionnement de l'évacuateur, l'évacuateur ne fonctionne pas dans le délai requis ;
- Défaut de dimensionnement de l'évacuateur : fonctionnement normal de l'évacuateur mais le dimensionnement des évacuateurs est toutefois insuffisant vis-à-vis des caractéristiques (débit, durée, gradient) de la crue (occurrence d'une crue hors dimensionnement de l'évacuateur) ;
- Fonctionnement dégradé de l'évacuateur : l'évacuateur fonctionne dans un mode dégradé ne permettant pas l'évacuation de crues inférieures à la crue de dimensionnement mais permettrait cependant l'évacuation de certaines crues (ouverture partielle ou encombrement de l'évacuateur diminuant le débit évacué).

On peut ainsi définir les crues « C » suivantes associées à une période de retour donnée « T » :

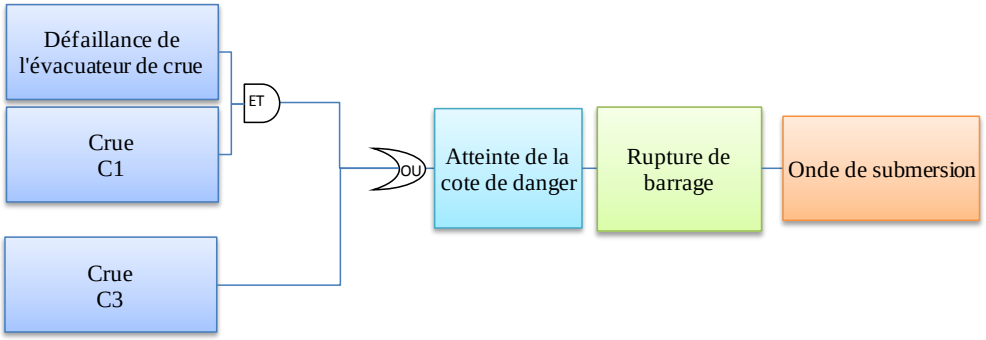
Identification	Description	Période de retour
C0	Crue ne présentant pas de risque pour l'ouvrage	T0
C1	Crue évacuable par les évacuateurs de crues en fonctionnement normal ou dégradé mais pas en cas de dysfonctionnement total	T1
C2	Crue évacuable par les évacuateurs de crues en fonctionnement normal, mais non en fonctionnement dégradé	T2
C3	Crue non évacuable par les évacuateurs	T3

Tableau 1: Caractéristiques des crues au regard des évacuateurs

Une représentation graphique d'un scénario de rupture de barrage en crue peut donc être la suivante :



La représentation suivante présente un cas simplifié ne prenant pas en compte les degrés de défaillance de l'évacuateur :

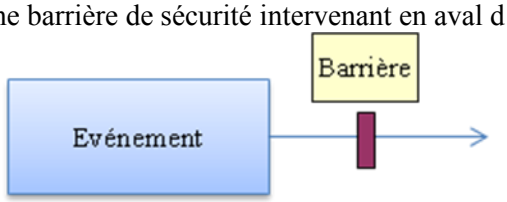


La probabilité des différents scénarios retenue dans le cadre des études de dangers repose en partie sur la probabilité de fonctionnement ou de défaillance des évacuateurs à la sollicitation. Cette dernière, pour être établie, nécessite d'évaluer indépendamment les différents éléments ou équipements constitutif du système d'évacuation des crues (vantellerie, contrôle-commande, communications, alimentations, etc.) puis d'évaluer ce système dans sa globalité.

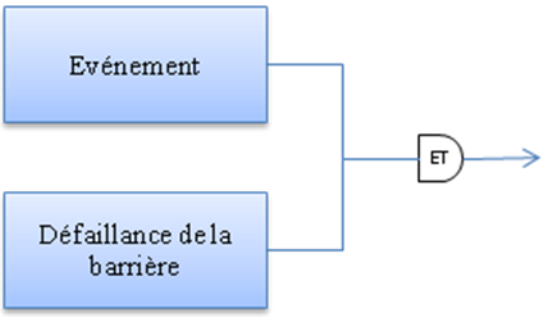
1.3 Rapprochement avec l'approche barrière

L'étape d'« Evaluation des risques » décrite dans le processus de gestion des risques de la norme ISO/CEI 31010:2009 peut s'appuyer sur les nœuds-papillons comme outils de représentation des scénarios d'accident majeurs potentiels. Cette représentation permet de positionner et de visualiser les barrières de sécurité présentes sur le scénario.

La représentation graphique d'une barrière de sécurité intervenant en aval d'un événement est la suivante :



Cette représentation est strictement équivalente à la représentation suivante avec l'introduction d'un opérateur logique « Fonction ET » :



Les barrières de sécurité sont évaluées en performance, car leur fonctionnement influe sur la probabilité d'occurrence des scénarios d'accident considérés. Cette évaluation se fait généralement par la détermination d'un niveau de confiance (NC). Le niveau de confiance traduit la probabilité de défaillance d'une barrière sur sollicitation. Il est déterminé sur la base des méthodes semi-quantitatives développées à l'INERIS et détaillées dans les méthodes Oméga 10 [2] et Oméga 20 [3], applicables respectivement aux barrières de sécurité techniques et humaines.

La représentation graphique d'une barrière peut être rapprochée de la représentation graphique d'une défaillance d'évacuateur, utilisée pour les ruptures de barrages en crue. C'est sur la base de cette constatation qu'une réflexion a été menée afin de déterminer dans quelle mesure les méthodes Oméga 10 et Oméga 20 pouvaient être transposées à l'évaluation des performances des évacuateurs de crue, en adaptant les paramètres qu'elles ciblent pour les barrières de sécurité classiques au cas spécifique des évacuateurs de crue de barrage. Ce travail a mené à la définition de niveaux de confiance, ou fréquences de défaillance sur sollicitation, pour différents types et différentes configurations d'évacuateurs de crue.

Pour cela, les critères de la méthode Oméga 10 ont été appliqués aux éléments techniques et les critères de la méthode Oméga 20 aux éléments humains. On juge ainsi de la conformité des évacuateurs de crue à des exigences de niveau de confiance. La correspondance entre NC, classes de fréquence et probabilités de défaillance à la sollicitation est la suivante :

NC	Probabilité de défaillance à la sollicitation	Classe de fréquence
NC1	10^{-1}	F1
NC2	10^{-2}	F2
NC3	10^{-3}	F3

Tableau 2 : Correspondance entre niveaux de confiance, probabilités de défaillance à la sollicitation et classes de fréquence

Note : Les méthodes ont été pensées pour les exigences particulières des barrières de sécurité rencontrées sur les installations à risques. Leurs critères ne sont pas tous adaptés aux évacuateurs, et certains ont dû être adaptés.

Remarque sur le fonctionnement dégradé des évacuateurs :

Dans le cas où l'évacuateur fonctionne en mode dégradé (évacuation partielle du débit), la montée des eaux dans la retenue est potentiellement plus lente que lors d'une défaillance totale du système. Aussi, une distinction dans les « degrés » de défaillance du système est parfois faite, ce « degré » influant sur la cinétique de l'accident potentiel.

Par souci de simplification, ce degré de défaillance n'est pas envisagé ici, et un non-fonctionnement optimal de chaque système ou sous-système d'évacuation est considéré comme une défaillance totale. En effet, la modification de la cinétique de montée des eaux ne sera pas systématiquement considérée comme suffisante pour garantir une intervention interrompant la séquence accidentelle, ou une évacuation des personnes réduisant

la gravité de l'accident potentiel. Aussi, en première approche, il sera considéré la défaillance des systèmes évacuateurs au sens large, sans faire de distinction entre défaillance totale et fonctionnement dégradé.

2. PRINCIPES D'EVALUATION DES PERFORMANCES DES EVACUATEURS DE CRUES

2.1 Typologie des barrières et des évacuateurs

La typologie des barrières de sécurité reprise dans la figure ci-dessous dépend de la technologie mise en œuvre :

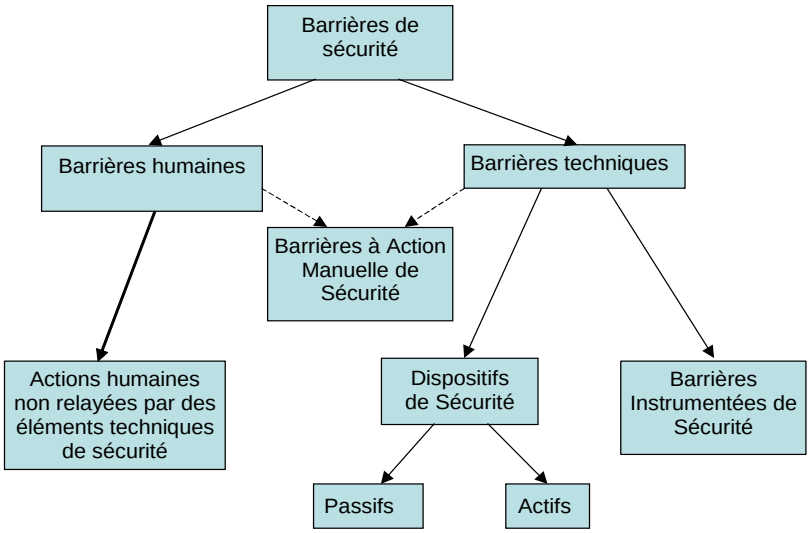


Figure 1 : Typologie des Barrières de Sécurité

Un dispositif passif est défini comme un dispositif ne mettant en jeu aucun système mécanique pour remplir sa fonction et ne nécessitant ni action humaine (hors intervention de type maintenance), ni action d'une mesure technique, ni source d'énergie pour remplir sa fonction.

Les évacuateurs sont généralement différenciés suivant leur fonctionnement : de surface ou en charge.

Afin de correspondre à la classification des barrières techniques de sécurité définie dans les études de dangers, qui permet d'évaluer un niveau de confiance, trois types d'évacuateurs sont définis :

- les évacuateurs passifs ne nécessitant pas d'énergie pour fonctionner ;
- les évacuateurs actifs dont l'énergie d'activation est fournie par la retenue ;
- les évacuateurs instrumentés nécessitant une source d'énergie externe.

Le lien entre les deux typologies est donné dans le tableau ci-dessous :

	Passifs	**Actifs**	**Instrumentés**
De surface	Seuil libre	Systèmes fusibles Systèmes gonflables Vannes/Clapets à flotteurs	Pertuis vannés de surface
En charge	Tulipe Siphons		Evacuateurs vannés de fond ou de demi-fond

Tableau 3 : Typologie des évacuateurs de crues

Les évacuateurs de crues sont des systèmes techniques qui font appel dans de nombreux cas à des actions humaines. Les éléments techniques et humains d'un évacuateur doivent être évalués. Les paragraphes ci-dessous

présentent les évaluations de dispositifs techniques. La démarche présentée dans le cadre de cet article doit également être mise en œuvre pour les éléments humains pour être complète.

2.2 Adaptation des critères de performance des barrières de sécurité aux EVC

En préalable à la prise en compte de barrières techniques et humaines de sécurité dans la quantification du risque, trois critères doivent être vérifiés :

- L'indépendance vis-à-vis du scénario (i.e. une crue donnée) doit être assurée. Le bon fonctionnement des évacuateurs ne doit pas être remis en cause par la crue elle-même. Les organes de commande manuelle doivent être accessibles, les organes d'évacuation ne doivent pas être endommagés par les contraintes hydrauliques ou les embâcles.
- L'efficacité est liée au dimensionnement pour le cas des évacuateurs. Les crues inférieures à la crue de dimensionnement pourront être combinées avec un évacuateur dans les nœuds-papillons présentés dans la partie précédente. Les évacuateurs ne sont pas pris en compte pour les crues supérieures à la crue de dimensionnement.
- Le temps de réponse est le temps nécessaire à la mise en œuvre totale de l'évacuateur. Il peut s'agir par exemple du temps nécessaire à l'ouverture d'une vanne. Le temps de réponse doit permettre de mettre en œuvre une action efficace dans un délai compatible avec la cinétique de la crue.

Les évacuateurs de crues peuvent être évalués suivant ces trois critères. S'ils sont respectés, on peut retenir l'évacuateur dans l'évaluation de la probabilité d'accident. Pour cela, on évaluera leur niveau de confiance, suivant l'approche semi-quantitative utilisée pour les barrières de sécurité :

- Le Niveau de Confiance traduit une probabilité de défaillance à la sollicitation de l'évacuateur lors d'une crue. Il est évalué sur des critères de conception et d'exploitation et en fonction de la technologie, de la tolérance aux défaillances, du comportement sur défauts, des possibilités de rattrapage. Le niveau de confiance (NC1 à NC3) sera traduit en classe de fréquence (F1 à F3) de l'événement de défaillance du système pour la prise en compte dans les nœuds-papillons, et in fine la détermination de la probabilité de l'accident potentiel.
- Le maintien des performances dans le temps est obtenu par la maintenance et la gestion des modifications, processus suivis dans un SGS le cas échéant, et est démontré par des tests ou des inspections. Il permet de s'assurer que la probabilité évaluée initialement mais aussi l'efficacité et le temps de réponse sont maintenus dans le temps.

Les méthodes développées donnent des éléments d'évaluation détaillés pour chaque type de barrière et pour chaque type d'action humaine (obtention de l'information, diagnostic, choix de l'action, réalisation de l'action). Des éléments d'appréciation spécifiques doivent être adaptés aux technologies et au contexte d'utilisation. Ainsi, il s'avère nécessaire d'adapter aux différentes technologies d'évacuateur des critères spécifiques. Il apparaît par exemple que l'indépendance et l'efficacité peuvent être fortement corrélées, ou encore que les principes de sécurité positive, essentiels dans l'évaluation des barrières techniques de sécurité, ne sont pas adaptés au contexte des barrages.

3. APPLICATION A QUELQUES TYPES D'EVACUATEURS

3.3 Les évacuateurs passifs

Il s'agit de parties de génie civil du barrage sans partie mobile et ne nécessitant pas d'action humaine, ou automatique de type :

- seuil libre ;
- seuil en crête suivi d'un chenal ;
- siphon ou tulipe (sans amorçage manuel) ;
- seuil labyrinthique (dont déversoir en touches de piano de type PK weir).

D'une manière générale, pour les évacuateurs passifs, l'INERIS propose les éléments d'évaluation du niveau de confiance, ou de la classe de fréquence et de leur maintien dans le temps suivants :

- Contraintes spécifiques : Les contraintes spécifiques à la retenue et à la conception de l'ouvrage et des évacuateurs, notemment en période de crue, doivent être intégrées à l'évaluation. Ainsi, les risques d'embâcles et de coincements de corps flottants (problématiques de tirant d'air) ainsi que les contraintes dues aux écoulements hydrauliques doivent être pris en compte dans le dimensionnement, la conception et la réalisation.
- Maintien dans le temps : les contrôles et inspections périodiques de l'ouvrage doivent couvrir les évacuateurs (valables y compris pour les évacuateurs en charge) et permettre de s'assurer que l'intégrité et la débitance sont maintenues. L'entretien approprié doit être mis en œuvre en fonction de l'analyse des résultats.
- Niveau de confiance : il est proposé d'affecter un NC2 par défaut aux barrières passives qui sera majoré ou minoré de 1 suivant la mise en place de mesures complémentaires ou l'absence de mesures minimales. Les évacuateurs passifs sont généralement considérés comme fiables mais le risque d'obstruction totale ou partielle doit être évalué suivant les spécificités de l'ouvrage et de l'évacuateur. Il n'existe pas de retour d'expérience quantifié permettant d'évaluer leur probabilité de défaillance. Un NC2 ou une classe de fréquence de défaillance associée F2 est admissible pour les évacuateurs si les critères minimaux, permettant de se prémunir contre les causes d'obstruction les plus probables sont respectés et si le maintien dans le temps est assuré. Un NC3 peut être affecté pour des crues largement inférieures à la crue de dimensionnement. Le NC sera limité à NC1 si la justification du maintien dans le temps est incomplète. On retiendra un NC0 si la justification du maintien dans le temps est absente ou si les moyens d'évitement des principales causes d'obstruction ne sont pas mis en oeuvre.

3.4 Les évacuateurs actifs

Les dispositifs de sécurité sont des dispositifs autonomes (ne nécessitant ni action humaine ni signal de commande externe) remplissant une fonction de sécurité et pouvant mettre en jeu des éléments mécaniques pour remplir leur fonction. Leur énergie d'activation est généralement fournie par l'événement redouté ou le phénomène dangereux, ici la montée des eaux.

Dans le cas des évacuateurs de crues, il s'agit d'organes mobiles ne disposant pas de commande externe pour fonctionner et dont la source d'énergie est fournie par la retenue lorsqu'elle atteint le seuil d'ouverture du dispositif. Il peut s'agir par exemple de :

- hausses fusibles ;
- boudins gonflables à commande hydraulique ne faisant pas appel à une source d'énergie externe ;
- seuils réglables de type clapet ou vannes secteurs ;
- vannes à flotteurs.

Le guide CFBR[4] sur les évacuateurs de crues les identifie comme « commande hydraulique à partir de la retenue ». Il peut s'agir de simples clapets à contrepoids, s'ouvrant sur la pression de la retenue ou de clapets plus complexes disposant de chambre de réglage et dont les débits d'alimentation et d'évacuation réglables permettent de remplir une fonction de régulation du niveau de la retenue. Les systèmes concernés peuvent inclure des flotteurs, des contrepoids, des capteurs, des dispositifs de verrouillage qui doivent être pris en compte dans l'évaluation.

Les critères minimaux sont les suivants :

Indépendance avec le scénario

De tels dispositifs sont conçus pour fonctionner en cas de crue. Les contraintes spécifiques en période de crues (embâcles, contraintes hydrauliques) doivent être prises en compte dans de la même manière que pour les évacuateurs passifs. Si des actions humaines sont prévues (déverrouillage), il faut s'assurer de la disponibilité des opérateurs et de l'accessibilité en période de crue.

Efficacité

Le dimensionnement doit être évalué de la même manière que pour les évacuateurs passifs.

La résistance aux contraintes spécifiques doit intégrer les éléments qui pourraient empêcher l'ouverture comme :

- un défaut du circuit hydraulique (obstruction, gel du flotteur) ;

- le bouchage des chambres de manœuvre par les débris flottants.

Ces éléments doivent être considérés dans la conception des évacuateurs. Par exemple, l'impact potentiel du gel doit être évalué et si besoin des dispositifs de chauffage mis en place. Dans le cas contraire, la résistance aux contraintes spécifiques n'est pas assurée.

Temps de réponse

Le temps d'ouverture de ces évacuateurs est relativement bref vis-à-vis du scénario de crue, le seuil d'ouverture doit être dimensionné de manière à ce que le temps d'évacuation soit acceptable. Il peut y avoir des dispositifs de verrouillage qui nécessitent une action humaine. Le temps de réalisation d'analyse et de réalisation de cette action doivent être pris en compte. Il n'existe généralement pas d'action de secours sur ces évacuateurs en cas de défaut, donc pas de possibilité de rattrapage.

Niveau de confiance

Si les critères minimaux sont respectés, le niveau de confiance peut être évalué. Il est proposé de l'évaluer à partir de l'architecture (redondance), du retour d'expérience et des moyens de diagnostic.

NC ou classe de fréquence	**Tolérance aux anomalies matérielles (redondance)**	
	Eprouvé par l'usage avec diagnostic des défauts	**Non éprouvé par l'usage ou sans diagnostic des défauts**
1	0	1
2	1	2
3	2	3

Tableau 4: Niveaux de Confiance des évacuateurs actifs

La tolérance aux défaillances est le niveau de redondance du système d'évacuation des crues. Si deux clapets ou deux vannes avec ces commandes indépendantes permettent d'évacuer la crue, la tolérance aux défaillances est de 1. Dans le cas général, si un seul dispositif est intégré à l'ouvrage, la tolérance aux défaillances est de 0.

Deux exigences permettent de déterminer quelle règle appliquer pour la tolérance aux défaillances :

- L'équipement **éprouvé par l'usage** est un équipement qui, par son utilisation antérieure dans des conditions d'utilisation similaires, a permis de prouver sa performance (son efficacité et sa fiabilité). Ce concept repose donc sur le retour d'expérience.
- Pour les dispositifs complexes (intégrant capteurs, flotteurs ou chambre de réglage), des moyens de **diagnostic des principaux défauts** doivent être mis en œuvre.

On retiendra un NC1 ou une classe F1 si le dispositif est éprouvé par l'usage et est de conception simple ou comprenant des moyens de diagnostic des défauts. Sinon, l'ouvrage devra disposer de deux dispositifs indépendants pour valoriser une classe F1. Si deux clapets sont disponibles, on pourra retenir une classe F2 pour une crue évacuable par un seul clapet et une classe F1 pour une crue nécessitant l'ouverture des deux clapets.

Le maintien des performances dans le temps est justifié par la réalisation de contrôles périodiques, d'essais périodiques et d'opérations de maintenance préventive ou curative. Le test d'ouverture des dispositifs actifs est rarement possible. Cependant, l'ensemble des organes d'évacuation doit être inspecté périodiquement. Cette inspection doit en particulier s'assurer de l'état des vannes et des clapets et des éléments annexes (flotteurs, contrepoids, etc.). Ces vérifications portent sur l'état général des équipements (corrosion, déformation, déplacement, dégradation) et sur l'encrassement susceptible de bloquer leur fonctionnement. Il faut également s'assurer de l'absence de dispositifs de verrouillage. Enfin, il faut s'assurer que l'ensemble des dispositifs réglables est correctement réglé. La maintenance périodique concerne principalement des travaux d'entretien mineur de type lubrification ou ajustement.

3.5 Les évacuateurs instrumentés

Les évacuateurs instrumentés ou vannés sont assimilables à des barrières techniques instrumentées de sécurité. Ils reposent en effet sur la mise en œuvre d'instrumentation (instruments de mesure, capteurs, automates, relayage, actionneurs) pour créer un système d'acquisition de mesures et de commande. Souvent, la commande d'ouverture des vannes nécessite également une action humaine :ceci permet de se prémunir contre les risques d'ouverture intempestive.

La boucle instrumentée peut être constituée de tout ou partie des éléments ci-dessous :

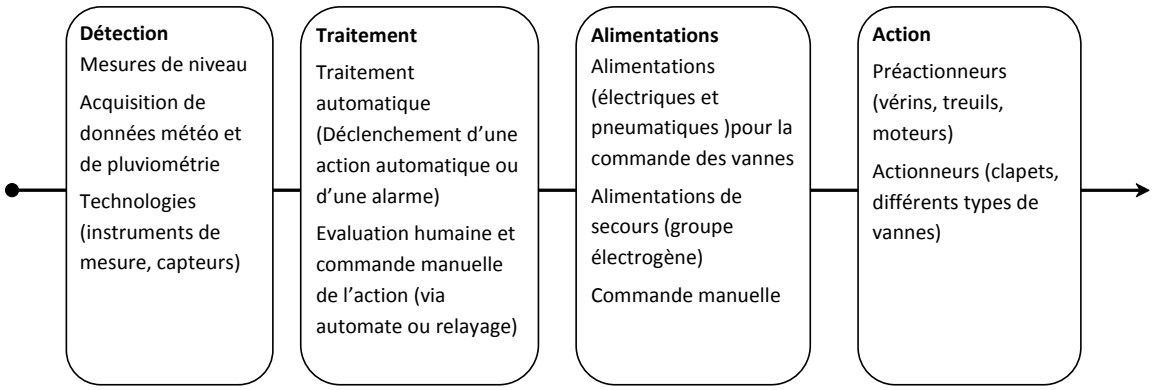


Figure 2 : Eléments constitutifs d'un évacuateur instrumenté

Les critères minimaux doivent être respectés pour retenir l'évacuateur dans l'évaluation des probabilités de rupture de barrage en crue.

Indépendance avec le scénario

Les différents équipements doivent fonctionner même en cas de crue importante. Si des actions humaines sur certains équipements sont prévues dans le fonctionnement normal ou dégradé de l'évacuateur, l'accessibilité à ceux-ci doit être assurée y compris lors d'une crue. Il faut vérifier en particulier :

- que les organes de manœuvre, les systèmes électriques et de contrôle-commande, les accès aux équipements essentiels et de manière générale tous les éléments permettant une intervention sur les organes de sécurité de l'ouvrage, sont installés au-dessus des plus hautes eaux connues ou attendues ;
- que la sûreté intrinsèque d'un ouvrage peut être assurée par l'exploitant, en autonomie et en local (sans apport d'énergie externe), le cas échéant sans système automatisé à sa disposition (en situation dégradée).

Efficacité

Comme pour les autres types d'évacuateurs, l'efficacité est liée au dimensionnement. Les évacuateurs vannés peuvent être des évacuateurs de surface ou des évacuateurs en charge. Le risque et les effets des embâcles doivent être évalués.

La résistance aux contraintes spécifiques doit intégrer les éléments qui pourraient empêcher l'ouverture comme :

- un défaut du circuit hydraulique (obstruction, gel du flotteur, fuite sur circuit hydraulique) ;
- le bouchage des chambres de manœuvre par les débris flottants ;
- les pertes d'alimentation électrique par le réseau.

Ces éléments doivent être considérés dans la conception des évacuateurs. Par exemple, l'impact potentiel du gel doit être évalué et si besoin des dispositifs de chauffage doivent être mis en place. Dans le cas contraire, la résistance aux contraintes spécifiques n'est pas assurée.

Temps de réponse

Le temps de réponse est lié au niveau de confiance que l'on souhaite obtenir. En cas de défaillance des moyens de commande des vannes, une action manuelle doit être mise en place ou les moyens d'action restaurés. Le fonctionnement étant rarement à sécurité positive[2], ces moyens de secours sont nécessaires à l'atteinte du NC1. Le temps de mise en œuvre des moyens de secours est donc dimensionnant pour le temps de réponse.

[2] Un équipement est dit « à sécurité positive » lorsqu'une perte du fluide moteur (dont électricité) ou des utilités

Le temps de réponse doit être évalué pour la chaîne instrumentée dans son ensemble. Il comprend le temps de réalisation et de transmission de la mesure (qui peut être exprimé par une fréquence), le temps de traitement des données (qui comprend des actions automatiques ou humaines), le temps de réalisation de l'action (temps de manœuvre de la vanne) et le temps de mise en œuvre des actions de secours sur défaut d'un ou plusieurs éléments de la chaîne.

Le temps de réponse des évacuateurs vannés ne permet généralement pas de prévenir la rupture due aux crues soudaines. Pour les crues rapides et lentes, l'évaluation doit être faite.

L'évaluation du respect des critères minimaux permet de dimensionner les crues pour lesquelles l'évacuateur est efficace (dimensionnement, résistances aux contraintes spécifiques, modes dégradés) dans un temps de réponse suffisant. L'évacuateur sera retenu pour l'évaluation de probabilité uniquement pour ces crues.

Niveau de confiance

Le niveau de confiance doit être évalué pour chacun des sous-systèmes de l'évacuateur instrumenté (capteurs, automate, organes de manœuvres, vannes). Le niveau de confiance global correspondra au NC du sous-système le plus faible.

Pour les systèmes instrumentés, on définit normalement une position de sécurité qui est atteignable dans tous les modes d'exploitation du système : en cas de défaillance de l'un des équipements, le système est conçu pour passer en repli dans cette position de sécurité. Du point de vue de la fonction d'évacuation, cette position correspond à l'ouverture des vannes. Il ne s'agit pas d'une position de sécurité dans la mesure où l'ouverture intempestive est l'évènement initiateur d'un scénario d'accident. Le fonctionnement à sécurité positive est difficilement acceptable pour un évacuateur instrumenté.

La conception des évacuateurs instrumentés doit permettre d'atteindre un compromis acceptable entre la fiabilité et le risque d'action intempestive. Plusieurs stratégies peuvent être adoptées :

- Mettre en place des actions humaines de préférence à des actions automatiques. En cas de défaut détecté, d'alarme de franchissement d'un seuil de mesure ou de perte d'alimentation, la décision d'activation des évacuateurs dépendra de l'analyse de la situation sur site. Cette option est acceptable si les crues sont prévisibles, observables et à cinétique lente. Il faut donc s'assurer que la prise de décision et l'action sont toujours réalisables dans des délais acceptables. Ceci peut ne pas être le cas pour des barrages isolés sur lesquels il n'y a pas de présence permanente ou susceptibles de subir des crues soudaines.
- Si des actions automatiques sont mises en œuvre, elles doivent éviter la sécurité positive : le déclenchement automatique sur défaut ou perte d'alimentation induit un risque d'ouverture intempestive qui n'est pas acceptable. En l'absence de sécurité positive, l'atteinte d'un NC1 peut nécessiter de mettre en place d'architecture redondante ou de moyens de secours. Il faut en particulier veiller à la disponibilité de l'alimentation en énergie et/ou disposer d'un moyen d'ouverture manuel des vannes compatible avec le temps de réponse attendu.

Le niveau de confiance est évalué à partir des architectures définies dans le tableau ci-après, tableau adapté pour des fonctionnements à l'émission :

Niveau de redondance	**Niveau de confiance**	
	Pas de diagnostic des défauts	**Diagnostic des défauts et action compensatoire existante**
0	NC 0	NC 1
1	NC 1	NC 2
2	NC 2	NC 3

Tableau 5 : Niveau de confiance maximal pour les équipements des évacuateurs instrumentés

---

conduit l'équipement à se mettre en situation sécuritaire stable ; la position de sécurité du système doit être maintenue dans le temps.

Pour les équipements non programmables, le tableau ci-dessus s'applique. En l'absence de fonctionnement à sécurité positive possible, un diagnostic des défauts, ou une vérification de la réalisation de l'action commandée (fin de course sur une vanne par exemple), doit permettre de mettre en œuvre une mesure compensatoire (action manuelle, seconde voie de commande) dans un délai permettant d'atteindre le temps de réponse acceptable. Dans ces conditions, un NC1 est atteignable pour des systèmes non redondés.

Les automates standards (non certifiés de sécurité) doivent au minimum disposer de moyens de diagnostics des principaux défauts pour que l'on considère qu'ils contribuent à la réduction du risque. Ces diagnostics doivent couvrir les alimentations, les cartes d'entrée/sortie utilisées pour les capteurs, vannes et alarmes liés à l'évacuateur de crue, l'intégrité des mémoires et des processeurs (ces deux derniers points sont normalement traités par l'automate de façon standard) et permettre de basculer sur un autre moyen de contrôle-commande ou de remettre l'automate en service. Si cette condition est respectée, la seconde colonne du tableau ci-dessus s'applique.

Pour les automates de sécurité, le niveau de confiance retenu sera équivalent au niveau SIL sous réserve que les prescriptions et limites d'utilisation et de maintenance soient appliquées.

3.6 Exemples d'évaluation

Nous présentons ci-dessous les résultats d'évaluation de deux évacuateurs instrumentés :

- le premier cas correspond à une installation ancienne ;
- le second cas correspond à une installation similaire dont les différents équipements ont été fiabilisés.

Un barrage mobile est constitué des 4 passes chacune équipée d'une vanne segment. Les vannes sont manœuvrées par des treuils à chaînes. Lorsque le débit augmente en période de crue, les vannes sont levées progressivement. L'ouverture totale de trois vannes est suffisante pour évacuer la crue de projet. Le tableau ci-dessous présente et compare l'évaluation du NC de la fonction d'évacuation de ces vannes pour deux configurations : l'une de conception ancienne et la seconde fiabilisée. L'évaluation du NC est faite pour chaque élément utilisé pour la réalisation de la fonction. Le NC global est le NC du maillon le plus faible.

	MESURE	**CONTRÔLE COMMANDE**	**ALIMENTATIONS ET UTILITÉS**	**ACTIONNEURS**	**NC GLOBAL**
Installation ancienne non fiabilisée	Un point de mesure testé régulièrement. Alarme sur valeur hors gamme **NC1**	Commandes manuelles centralisées et en local. **NC1**	Redondance des alimentations électriques (Réseau ERDF et groupe électrogène fixe). **NC1**	4 vannes manœuvrées par treuils à chaînes. Avec indicateurs de position **NC2**	**NC1**
Installation ancienne fiabilisée	Redondance des points de mesure avec contrôle des discordances. **NC2**	Commande automatique par automate de sauvegarde plus alarme transmise à l'astreinte. Commande manuelle de secours centralisée. Commande manuelle de l'organe. **NC2**	Redondance des alimentations électriques (Réseau ERDF et groupe électrogène fixe) les deux liaisons électriques sont totalement indépendantes. Protection incendie du local du groupe électrogène. Redondance des liaisons de communication. **NC3**	Chauffage pour permettre les manœuvres en période de gel intense. Procédure de mise en place des batardeaux assurant qu'une seule vanne sera batardée en période de crue. **NC3**	**NC2**

Tableau 6 : Description de deux configurations pour un même système d'évacuation des crues

Dans le premier cas, des modes communs de défaillance peuvent mettre en défaut la fonction d'évacuation des crues. La redondance sur les vannes permettrait d'atteindre un NC2 mais la chaîne de commande limite le NC à 1. Dans le second cas, les redondances et les contrôles mis en place permettent de se prémunir contre une perte de la fonction d'évacuation due à une défaillance unique. La fiabilisation de l'évacuation des crues a nécessité une réflexion sur l'ensemble des équipements mis en œuvre.

4. CONCLUSION

L'intégration des évacuateurs à l'estimation de probabilité de rupture de barrage en crue demande, dans un premier temps, de distinguer les scénarios de crues évacuables par le dispositif, en fonction de son dimensionnement et de son temps de réponse, des scénarios de crues pour lesquels il ne peut pas être retenu comme sécurité. Ces deux types de crues seront deux événements initiateurs distincts ; le second type ayant une période de retour plus importante.

Dans la première configuration, la défaillance de l'évacuateur, associée à l'arrivée de la crue, sera considérée comme un événement initiateur de la séquence accidentelle. On estime dans ce cas que la classe de fréquence de cet événement initiateur peut être rapprochée d'une notion de niveau de confiance.

L'évaluation de ce niveau de confiance peut se faire selon les critères de méthodes développées par ailleurs à l'INERIS, moyennant certaines adaptations : la redondance et la sécurité positive n'étant pas caractéristiques des évacuateurs de crue, on cherchera davantage à valoriser le retour d'expérience et la possibilité de réaliser des actions compensatoires. Aussi, les actions humaines ont une part importante dans la détermination des performances en matière de sécurité des évacuateurs. Elles doivent être évaluées au même titre que les éléments techniques. Si cet article se concentre sur l'évaluation des dispositifs techniques, une démarche similaire doit être mise en œuvre pour ces actions humaines afin que la démarche soit complète.

La fiabilisation d'un système d'évacuation des crues doit s'appuyer sur un référentiel global permettant d'évaluer l'ensemble des éléments techniques et humains sollicités et non de faire porter l'effort uniquement sur les actionneurs ou le contrôle-commande.

RÉFÉRENCES ET CITATIONS

[1] Arrêté ministériel du 12 juin 2008 définissant le plan de l'étude de dangers des barrages et des digues

[2] Omega 10 - Évaluation des Barrières Techniques de Sécurité, consultable sur http://primarisk.ineris.fr

[3] Omega 20 - Démarche d'évaluation des Barrières Humaines de Sécurité, consultable sur http://primarisk.ineris.fr

[4] Guide CFBR « Recommandations pour le dimensionnement des évacuateurs de crues de barrages », juin 2013.