MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT, DE L'ENERGIE ET DE LA MER

Enseignements tirés des événements importants pour la sûreté hydraulique

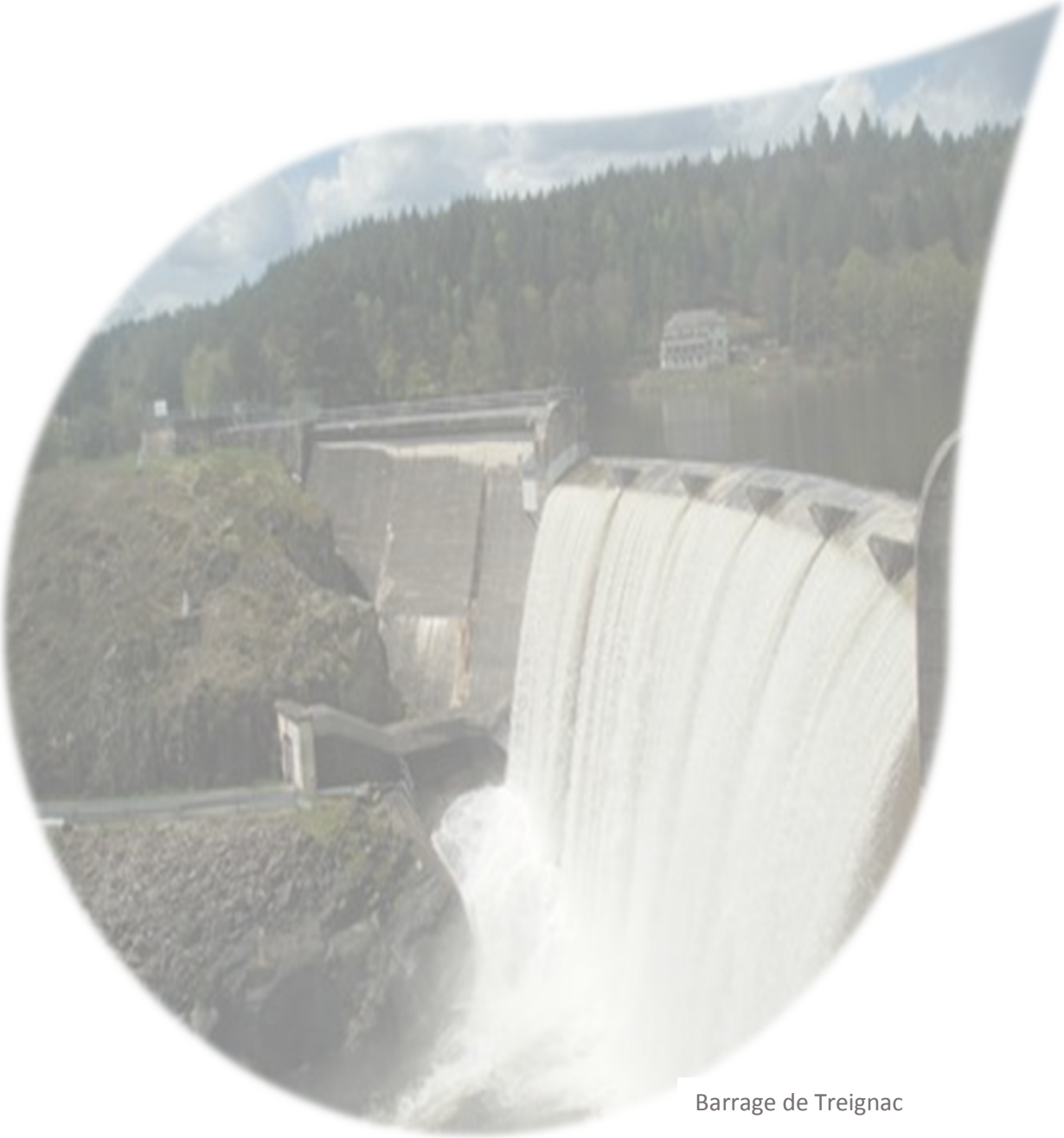
Éléments de retour d'expérience sur les organes hydromécaniques et de contrôle commande des barrages

Synthèse établie sur la base de l'article présenté au colloque CFBR 2015 [15]

- Avril 2016 -

Barrage de Cap de Long

ARIA
dgpr srt barpi



Barrage de Treignac

Sommaire

Résumé 4
Introduction 5
1. Générer et partager le retour d'expérience 5
1.1. Accident, incident : s'intéresser à l'ensemble des événements 5
1.2. Contrôle commande et organes hydromécaniques : analyser les signaux faibles 6
1.3. Analyser les causes 6
2. REX des ouvrages vannés et du contrôle commande 7
2.1. Pas d'utilisation probabiliste d'informations quantitatives 7
2.2. Résultat de l'analyse globale des bases de données 7
2.3. Eléments de REX sur le contrôle commande et organes hydromécaniques 11
3. Exemples d'événements 15
3.1. ARIA 43703 - 2013 - Automatisme - Travaux 16
3.2. ARIA 44915 - 2014 – Automatisme - Essais 17
3.3. ARIA 44554 – 2013 – Automatisme - Travaux 18
3.4. ARIA 46064 – 2014 - Vanne – Crue 19
Conclusion 20
ANNEXE 21
A.1. Le dispositif réglementaire des EISH et PSH 21
- Les EISH 21
- Les PSH 21
A.2. Enseignements et perspectives du recueil des EISH – PSH 21
A.3. La base ARIA : Analyse, Recherche et Information sur les Accidents. 23
Références et citations 25

Résumé

Le partage et l'exploitation des informations et enseignements tirés de l'analyse des incidents et accidents constituent des éléments fondamentaux du processus d'amélioration continue de la prévention des risques. L'arrêté du 21 mai 2010 impose aux propriétaires l'obligation de déclarer les événements importants pour la sûreté hydraulique (EISH) ainsi que, pour les barrages de classe A et B, les précurseurs pour la sûreté hydraulique (PSH). Une analyse des causes doit ensuite compléter la déclaration « à chaud ».

Depuis juillet 2010, les informations recueillies sur les événements relatifs aux barrages, en premier lieu les EISH, sont enregistrées dans la base de données ARIA (analyse, recherche et informations sur les accidents). La consultation de cette base, accessible au public via le site www.aria.developpement-durable.gouv.fr, permet d'obtenir des éléments sur le retour d'expérience (REX) des accidents technologiques ainsi que les résumés des événements.

Fin 2015, ARIA recense 356 événements concernant des ouvrages français ou étrangers. Si cette base de données n'est pas vouée à une exploitation statistique (taille réduite de l'échantillon, problèmes de représentativité), elle permet le partage par tous des enseignements tirés de l'analyse des accidents. A l'issue de ces premières années de mise en place du dispositif, une analyse des informations reportées dans la base de données ainsi que celles connues du bureau d'étude technique et contrôle des grands barrages (BETCGB) peut être établie afin de donner, notamment concernant les organes hydromécaniques et de contrôle commande des barrages, un panorama qualitatif et quantitatif des éléments de REX disponibles.

A travers quelques exemples, s'intéressant plus particulièrement aux domaines des automatismes et des équipements hydromécaniques, il est possible de mettre en évidence la manière dont une analyse du retour d'expérience permet de s'intéresser aux causes profondes d'une défaillance.

Barrage de Saint-Marc

Introduction

Afin de s'interroger sur la robustesse et la pertinence des règles en usage pour la conception et l'exploitation des barrages, ou après un événement, l'analyse des accidents et incidents affectant les ouvrages hydrauliques est un souci constant de la profession. Il fait l'objet de publications régulières. Les bulletins 99 et 109 [1] de la commission internationale des grands barrages (CIGB) sont régulièrement cités dans le cadre des études de dangers. Plus récemment, le colloque organisé par le comité français des barrages et réservoirs (CFBR) en 2011, concernant les études de dangers, a donné lieu à une présentation du dispositif réglementaire français de recueil des événements importants pour la sûreté hydraulique et des précurseurs de la sûreté hydraulique (PSH) [2].

Fort heureusement au regard des enjeux, les accidents demeurent peu nombreux. Chaque ouvrage n'est généralement concerné que par un faible nombre d'incidents. La réflexion doit pouvoir s'appuyer sur les enseignements tirés du retour d'expérience accumulé sur le plus grand nombre d'ouvrages et équipements similaires, en France ou à l'étranger. C'est pourquoi les similarités ne sauraient être cantonnées à la typologie de l'ouvrage mais doivent être abordées en termes de composants ou d'éléments fonctionnels ainsi que de mode d'organisation tout particulièrement en ce qui concernent les domaines du contrôle commande et des équipements hydromécaniques.

Ce travail suppose d'avoir accès à une information concernant un grand nombre d'événements et un REX permettant de sélectionner les cas dont les similarités permettront d'en utiliser les enseignements. Or chaque barrage est un prototype, résultat unique de l'utilisation de techniques variées, assemblages d'équipements et de technologies diverses. L'utilisation des seules données statistiques mondiales, voire de liste d'accidents ou d'incidents, sans en retirer une analyse spécifique, ne saurait alors être suffisante [3]. Ceci est d'autant plus vrai pour les équipements spécifiques comme les vannes ou les dispositifs de contrôle commande (au sens large) des barrages.

Les causes d'un accident technologique peuvent être multiples. Parmi elles, sont fréquemment analysées, notamment par le bureau d'analyse des risques et pollutions industriels (BARPI), les causes techniques (défaillance d'un équipement, conception erronée...), les causes humaines et organisationnelles (erreur humaine, formation insuffisante, organisation défaillante…), les causes naturelles (foudre, inondation, grand froid...). La malveillance peut, elle aussi, conduire à des accidents d'autant plus graves qu'elle n'est souvent pas prise en compte dans les analyses des risques et études de dangers.

1. Générer et partager le retour d'expérience

1.1. Accident, incident : s'intéresser à l'ensemble des événements

Il est d'usage de définir par « accident » tout événement conduisant à des conséquences graves pour les biens ou les personnes et par « incident » tout événement sans conséquences matérielles graves. Il est également possible s'agissant des barrages de ne parler d'accident que pour des ruptures. Les publications de la CIGB font ainsi généralement référence à des ruptures majeures ou à des accidents se produisant lors de la mise en eau ou à la construction

Barrage de Malpasset

Les scénarios accidentels ne sont pas le résultat d'une cause unique mais d'une conjonction de défaillances matérielles, organisationnelles ou

humaines qui, prises séparément, pourraient être sans conséquences. Tous les événements, que leurs conséquences soient graves ou non, permettent de construire un retour d'expérience pour l'amélioration de la sûreté.

1.2. Contrôle commande et organes hydromécaniques : analyser les signaux faibles

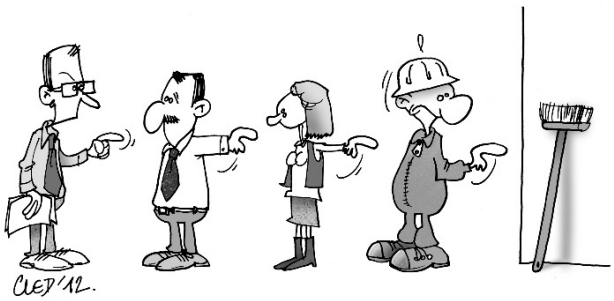
En l'absence de crue, la défaillance d'un dispositif de sécurité ne généra pas systématiquement de conséquences. Par exemple, la perte d'une alimentation électrique d'organes de crue, tant qu'il n'est pas nécessaire de les manœuvrer, est sans conséquences. L'étude de cette défaillance n'est cependant pas sans intérêt ; le retour d'expérience est largement transposable à une situation de crue. Le risque de défaillance est de plus aggravé lors d'une crue significative qui génère des sollicitations importantes.

Par ailleurs, les barrages étant conçus pour résister à des crues d'occurrences rares, il est logique de n'observer qu'un nombre réduit d'événements graves dus à une défaillance de leurs organes de sécurité. Les travaux de l'US National Research Council (1983) estiment à 2 % le nombre de barrage en remblais ayant subi un accident en raison d'un dysfonctionnement de leurs vannes [4]. De même la CIGB montre qu'un accident résulte généralement de la combinaison de défaillances de plusieurs barrières matérielles et organisationnelles [5].

Il est donc nécessaire de s'intéresser aux événements sans conséquences ou sur des barrages modestes. Leur traitement permet de faire progresser la sûreté. La mobilisation autour de l'analyse de ces signaux faibles alimente la dynamique d'amélioration de la sûreté et renforce la résilience des organisations.

1.3. Analyser les causes

Pour analyser l'origine d'un événement afin d'éviter sa récurrence, il faut en premier lieu refuser de concevoir un événement comme le résultat d'un concours de circonstances malheureux. Seules des analyses en profondeur permettent de définir des mesures qui corrigeront durablement la situation. Elles consistent en une démarche systématique et organisée. Idéalement, elle doit permettre d'adopter les mesures correctives les plus appropriées. Il est important de ne chercher ni à définir les responsabilités ni à déterminer les coupables.



Il existe aujourd'hui de nombreuses approches ayant comme objectif d'expliquer un événement a posteriori [13]. Un événement doit être considéré dans sa profondeur, en couches superposées. Si les premières couches sont accessibles au regard, on n'accède aux secondes que par l'analyse. Celle-ci peut alors faire apparaître les perturbations (ou causes premières) et les causes profondes. Il est essentiel de ne pas les confondre.

Les perturbations désignent les défaillances directes qui ont contribué à l'événement étudié. Elles sont accessibles à l'observation. Les causes profondes, en amont, sont des dysfonctionnements du système sociotechnique où s'est déroulé l'accident. Elles renvoient généralement à des dimensions relevant des facteurs humains et des dimensions organisationnelles et managériales. Accéder aux causes profondes, c'est être capable d'identifier les facteurs de fond de l'exploitation (ex : défaillances des barrières de défense en profondeur) qui ont créé des conditions accidentogènes dans la situation de travail. Ce souhait de compréhension fine conduit nécessairement l'analyse vers les aspects collectifs

(collaboration, communication), l'organisation du travail, le mode de management, la gestion des priorités, sans négliger l'état physique et mental des personnels, l'environnement social et technique du travail.

Crue de la Vilaine

La méthode utilisée par le BARPI [6] vise à mettre en lumière perturbations et causes profondes. Voici quelques perturbations types dont on peut donner l'exemple :

- les défauts matériels ;
- les agressions externes (dont météo) ;
- les interventions humaines qui se caractérisent soit par des actions requises qui n'ont pas été effectuées, soit par des actions effectuées mais non requises.

L'identification des perturbations permet de pointer le fait qui a affecté le fonctionnement des installations. Elles permettent de comprendre comment s'est déroulé l'événement, mais pas pourquoi. Les familles de causes profondes auxquelles fait appel le BARPI sont par exemple :

- les conditions de travail des opérateurs : formation et qualification, adéquation des procédures ou l'ergonomie de l'espace de travail, etc...
- la gestion des risques : lacunes dans l'identification des risques, choix des équipements inapproprié (au niveau de leur dimensionnement ou de leur matériau), organisation des contrôles non- robuste, carence en culture de sécurité, etc…
- des facteurs impondérables : malveillance, phénomènes dangereux inconnu de l'exploitant au moment de son analyse des risques, etc…

Le dispositif réglementaire des EISH, la manière dont ils sont collectés ainsi que les outils existants pour leur exploitation (base ARIA) sont présentés en détail en annexe.

2. REX des ouvrages vannés et du contrôle commande

Les résultats présentés ci-après se basent sur des événements pour lesquels l'information analysée est connue. Selon son type, les échantillons d'étude sont variables. Les pourcentages ne sont donc indicatifs que de proportion et non de statistique.

2.1. Pas d'utilisation probabiliste d'informations quantitatives

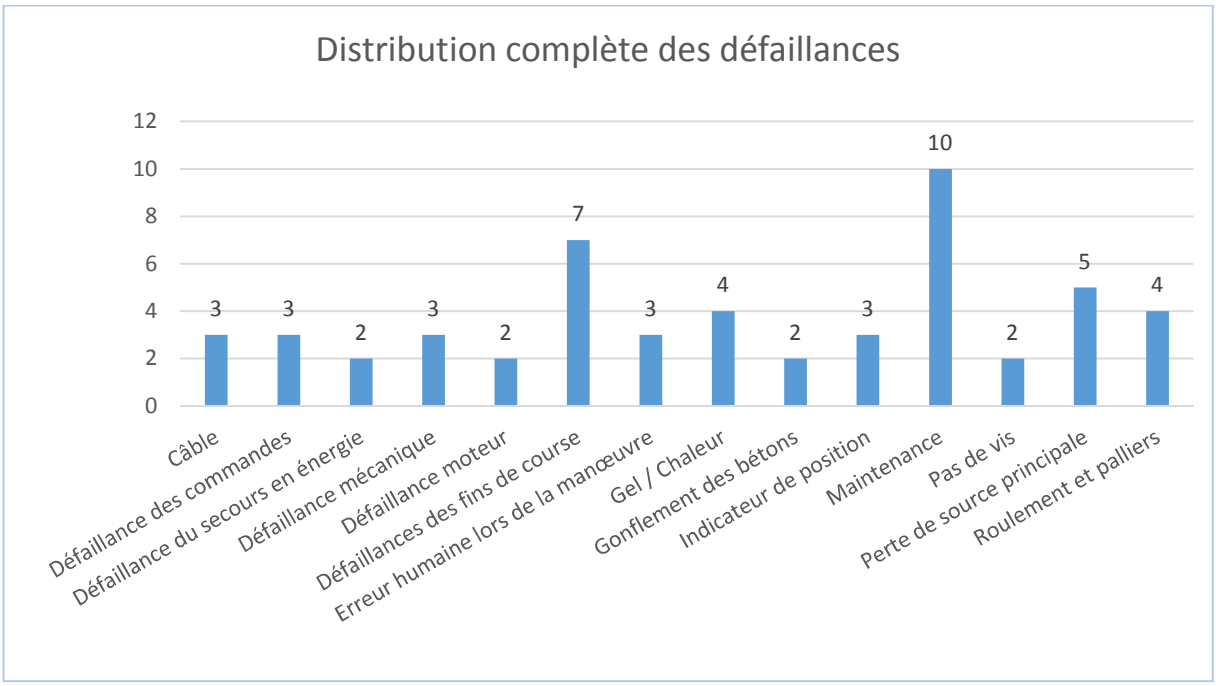
Notre travail nous conduit à présenter une description quantitative des événements. Une mise en garde s'impose contre une exploitation statistique des données. Ce serait une erreur que d'établir des lois probabilistes en considérant assimilables les modes de défaillances de chaque sous-ensemble.

- D'une part, cela reviendrait à étendre de façon imprudente à l'ensemble des ouvrages les lois observées sur les seuls ouvrages concernés sans tenir compte des inévitables biais inhérents à la composition de ces bases de données qui ne peuvent être exhaustives.
- D'autre part, cela reviendrait à nier la diversité des conceptions, des modalités d'exploitation et de sollicitation des barrages et de leurs équipements. Un même équipement selon l'architecture à laquelle il est intégré, son environnement, ses conditions de maintenance, de surveillance et d'exploitation peut avoir un comportement tout à fait différent [3].

2.2. Résultat de l'analyse globale des bases de données

De même que les scénarios accidentels intéressant les barrages poids [8] ou encore les fondations de barrages [9], l'analyse des incidents impliquant des organes hydromécaniques a fait l'objet de diverses

publications du CFBR au cours des années 1990 [10] ou de communication récente [11]. A l'étranger, le récent bulletin de recommandation de la CIGB pour la fiabilité des évacuateurs de crues, sur la base des travaux de Hobbs (2003) exploitant une soixantaine d'incidents concernant des vannes, donne par exemple une répartition statistique indicative des domaines impliqués (fig 4). Il est intéressant de remarquer que, dans son analyse, Hobbs cite explicitement les facteurs humains. L'exploitation de la base ARIA et des bases de données documentées par le BETCGB dont le contenu est présenté ci-après permettent de produire des analyses similaires et de préciser l'importance des domaines du contrôle commande et des organes hydromécaniques dans les événements observés et recensés.



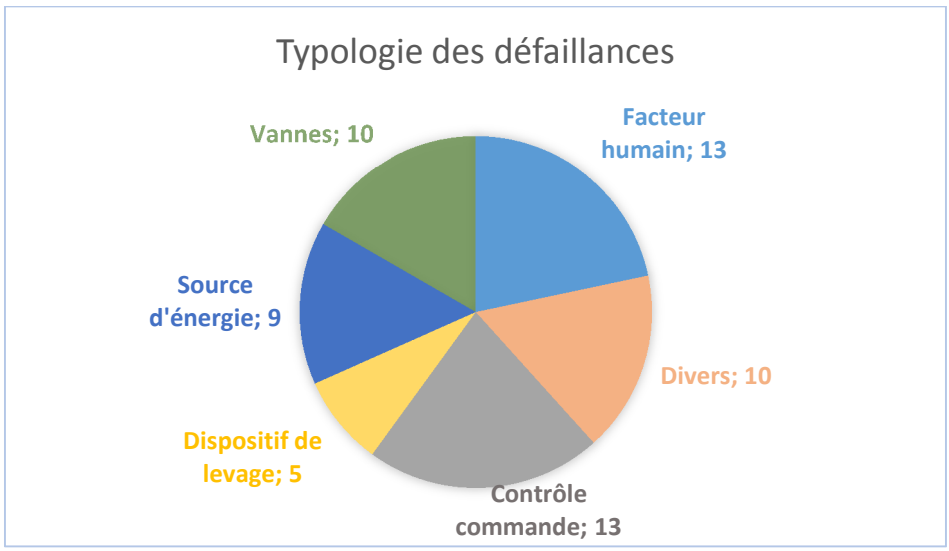


Figure 2 : Nature des défaillances selon Hobbs sur 60 événements impliquant des vannes : détail et typologie.

2.2.1. ARIA : le REX des barrages

Au regard des critères de sélection évoqués précédemment il apparaît logiquement que sur les 228 événements concernant des barrages, 211 portent sur une mise en cause de la sûreté hydraulique. Plusieurs phénomènes dangereux peuvent être présents au cours d'un même événement. Leurs occurrences sont représentées en figure 3.

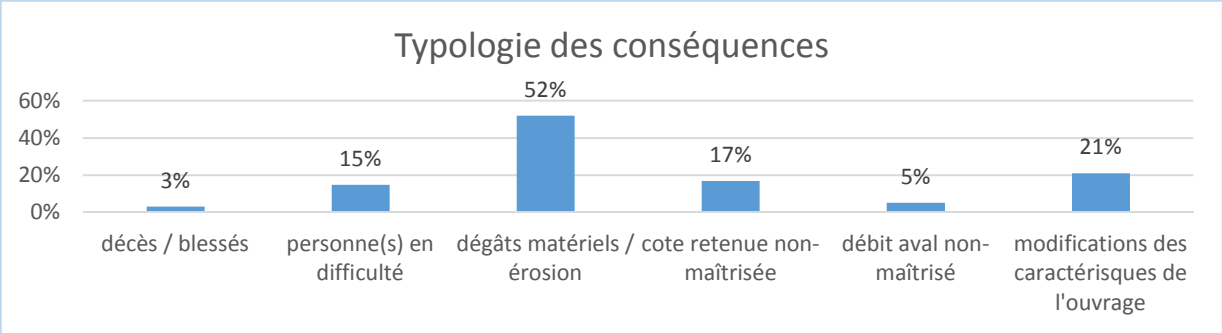


Figure 3 : ARIA - conséquences des EISH

Un tiers des événements concernent un défaut de maîtrise de la cote amont, de la fonction « retenir l'eau » ou de la maîtrise du débit relâché pouvant impliquer des organes hydromécaniques ou de contrôle commande.

Sur 228 événements enregistrés, 179 ont fait l'objet d'une déclaration d'EISH au sens de l'arrêté du 21 mai 2010. Le niveau de classement retenu n'est pas toujours renseigné dans la base, notamment pour les premiers cas saisis. Le tableau n°1 montre que 77 % des EISH dont le niveau a été renseigné dans ARIA sont de niveau jaune.

Niveau EISH retenu	**Nombre d'accidents**	**Pourcentage (sur total des renseignés)**
Jaune	113	77 %
Orange	32	22 %
Rouge	2	1 %

Tableau 1 : ARIA - Classement des EISH.

Comme développé précédemment, l'analyse des causes d'un accident peut comporter différents niveaux d'étude. L'identification des causes premières, ou perturbations, est l'étape la plus fréquemment effectuée. Ainsi sur les 228 cas étudiés, 192 événements ont au moins une perturbation identifiée dans la base. L'identification des causes profondes n'apparaît pas systématiquement dans les sources exploitées par le BARPI. Certaines sont néanmoins identifiées pour 135 événements sur les 228 enregistrés dans la base (tableau n°2). Plusieurs causes profondes peuvent être à l'origine d'un phénomène dangereux.

Causes profondes	**Nombre d'accidents**	**Pourcentage (sur total des renseignés)**
Facteurs humains, dont :	2	1 %
- facteur personnel (négligence, distraction, maladresse, oubli...)	2	1 %
Facteurs impondérables, dont :	4	3 %
- malveillance	2	1 %
- phénomène inconnu au moment de l'accident	1	1 %

Facteurs organisationnels, dont :	180	
- conditions de travail des opérateurs, dont :	26	19 %
* organisation du travail et encadrement	18	13 %
* procédures et consignes	5	4 %
* formation et qualification des personnels	2	1 %
* ergonomie inadaptée	1	1 %
- gestion des risques, dont :	154	
* organisation des contrôles	29	21 %
* choix des équipements et procédés	15	11 %
* identification des risques	15	11 %
* REX insuffisant	14	10 %
* culture de sécurité insuffisante	8	6 %
* communication inappropriée	6	4 %

Tableau 2 : ARIA - Causes profondes.

2.2.2. Base accidents du BETCGB

Le BETCGB entretient une veille pour enregistrer les accidents (rupture de barrages et accidents graves des catégories F1 et F2 ainsi que A1, A2 et A3 au sens de la CIGB [1]) se produisant en France et dans le monde. Cette veille médiatique et technique utilisant les retours d'expérience publiés ainsi que les informations diffusées via la CIGB a permis de constituer à ce jour une base accidents de 706 événements sur la période 1799-2014 et concernant 57 pays.

Du fait des modalités de recueil, le niveau de connaissance des scénarios accidentels est bien évidemment variable selon les accidents allant d'une connaissance très sommaire (date, lieu et type d'ouvrage au moins, pour 77 % des cas) à une analyse précise des causes notamment lorsque l'accident a fait l'objet de communication scientifique ; cette base de données ne peut viser ni à l'exhaustivité ni à une représentativité statistique solide de l'accidentologie mondiale.

Une analyse de cette base de données permet de situer de façon qualitative l'importance du contrôle commande et des organes hydromécaniques comme causes du scénario de rupture (fig 4).

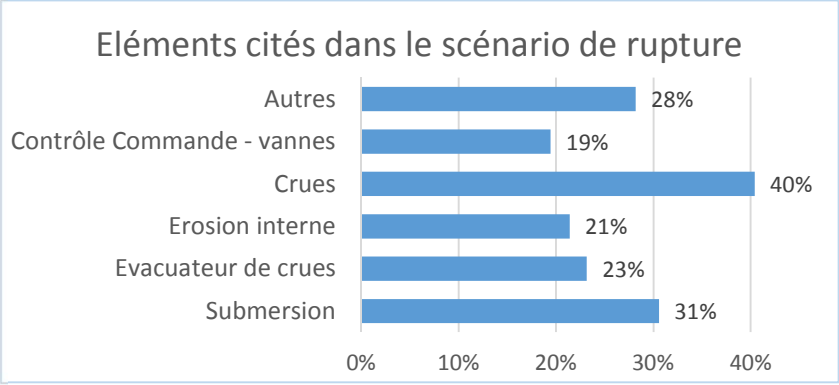


Figure 4 : Base BETCGB (454 événements) – éléments accidentels cités dans le scénario de rupture

Si l'on retrouve très logiquement les crues et la submersion comme causes premières des scénarios accidentels (ce qui est assez logique car 77 % des accidents documentés dans cette base de données

concerne des barrages en remblais), le domaine des organes hydromécaniques et de leur contrôle commande demeure un système important dans les scénarios accidentels puisqu'il est cité pour près d'un événement sur cinq. Dans près de 40 % de ces cas, l'accident se produit dans un contexte de crue.

On pourra observer que pour 27 cas sur les 194 ruptures lors d'une crue (14 %) et que pour 33 cas sur les 140 ruptures de barrage dues à une submersion (23 %), les scénarios accidentels pointent une défaillance des organes de crues. Il s'agit là d'une proportion importante si l'on considère que la grande majorité des ouvrages ne comporte que des évacuateurs de crues passifs. A titre indicatif, la proportion d'évacuateurs de crue passifs varie entre respectivement 54 % et 77 % pour les ouvrages concédés et autorisés en France [12].

Par comparaison, une synthèse des analyses de risques conduites dans le cadre des études de dangers de barrages en France identifie comme événement initiateur critique une défaillance au niveau de vannes ou de leur contrôle commande dans 15 % des cas [14].

2.2.3. Base incidents du BETCGB

Cette base incidents est alimentée par les événements ne conduisant pas à une rupture, c'est-à-dire principalement les EISH et PSH recueillis depuis 2006 et des événements connus par le BETCGB dans le cadre de ses missions d'appui, mais également les événements tirés de publications scientifiques. Le nombre d'événements renseignés est limité par la capacité de recueil et de traitement, notamment pour l'introduction des événements anciens, ne permettant pas de disposer d'une base de données intégrant l'exhaustivité des événements connus par l'administration.

Le travail réalisé à ce jour a cependant permis d'enregistrer près de 400 événements (concernant 36 pays, 95 % des événements sont postérieurs à 2000) composés pour majorité d'EISH (20 %) et de PSH (40 %). L'alimentation de cette base de données a conduit à une alimentation préférentielle par des éléments concernant les organes hydromécaniques ou de contrôle commande introduisant un biais statistique dans la représentation de ces événements au sein de cette base de données.

Sur les quelques 200 EISH déclarés depuis 2008 relus par le BETCGB, 70 événements intéressent au moins l'un des champs du domaine des organes hydromécaniques ou du contrôle commande, soit près de 30 % des événements déclarés. Cette proportion est bien plus importante si l'on considère les événements ayant fait l'objet d'une déclaration de PSH puisque sur les 153 PSH analysés, 19 % se rapportent à un événement concernant des organes hydromécaniques, 20 % concernent les alimentations en énergie, 56 % concernent les automatismes / contrôle commande et 5 % les dispositifs d'auscultation. L'analyse des scénarios accidentels impliquant des équipements de contrôles-commandes ou des organes hydromécaniques sur la base de ces signaux faibles présente donc un intérêt majeur.

2.3. Eléments de REX sur le contrôle commande et organes hydromécaniques

2.3.1. Base accidents du BETCGB

L'analyse de la base selon la structuration proposée par la CIGB [1] permet d'imputer l'origine de la rupture dans 21 % des cas aux ouvrages annexes, intégrant notamment les vannes et organes de contrôle commande. La figure 5 donne une décomposition des différents facteurs de causes impliqués. Le mauvais fonctionnement des organes d'évacuation est la première des causes citées.

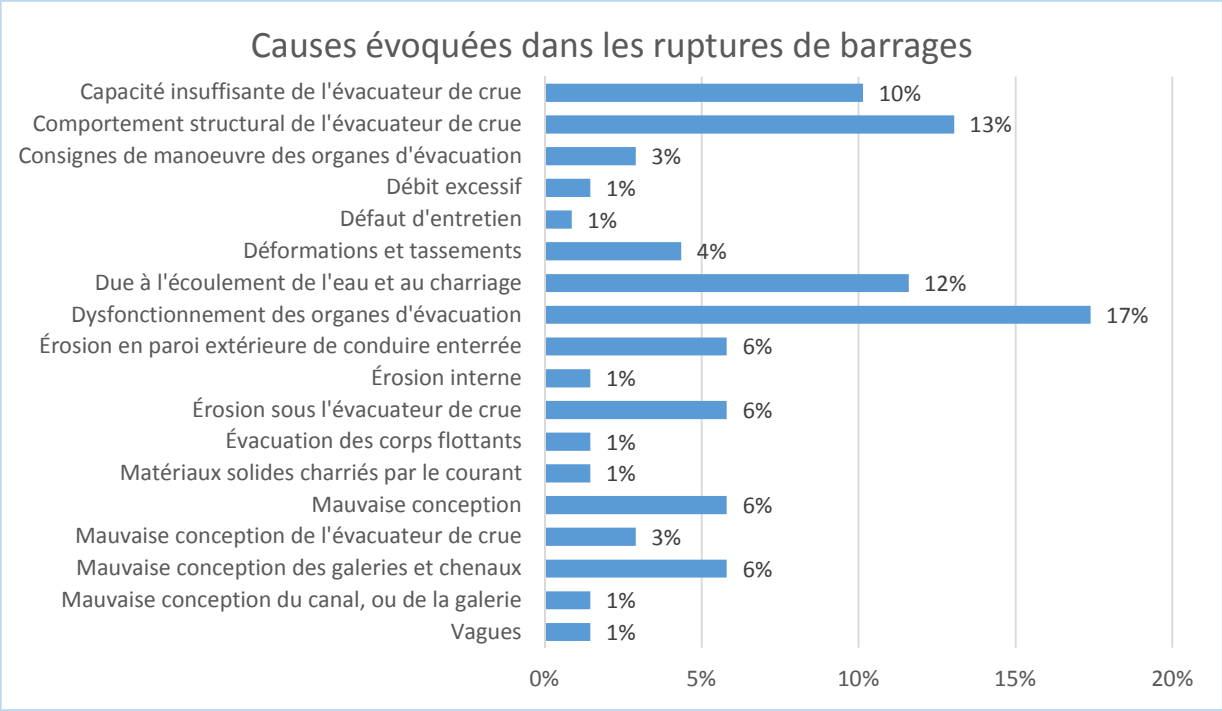


Figure 5 : Base BETCGB (69 événements) : initiateur principal parmi les ouvrages annexes de rupture de barrages.

2.3.2. Base incidents du BETCGB

En premier niveau d'analyse, il est intéressant de mettre en évidence pour chaque événement l'ensemble fonctionnel principal concerné par l'événement. Pour les besoins de l'étude nous nous sommes appuyés sur une décomposition analytique simple concernant respectivement les organes hydromécaniques, les alimentations électriques et les équipements de contrôle commande (figure 6).

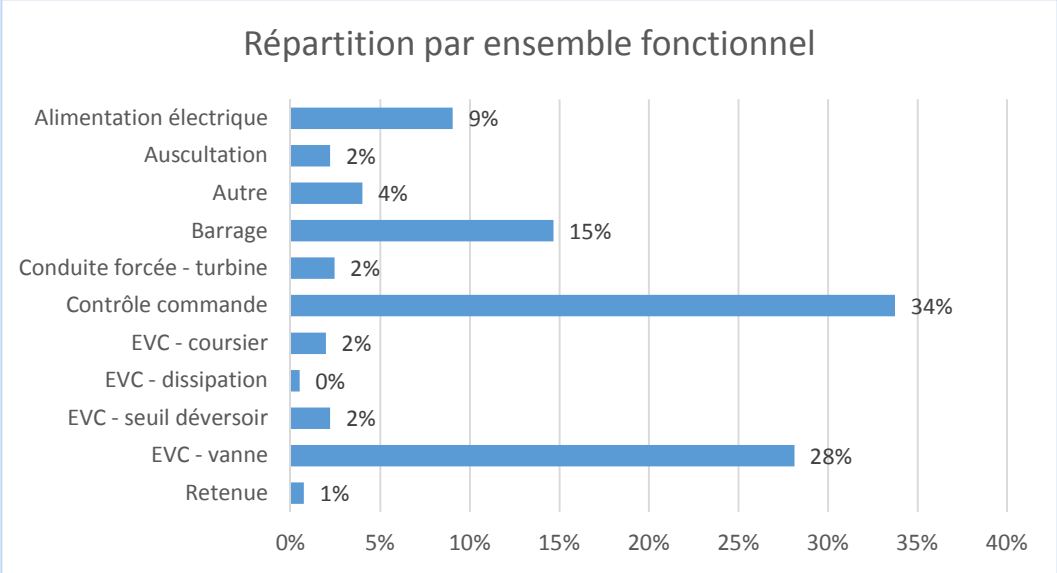


Figure 6 : Base BETCGB (405 événements) - Répartition par ensemble fonctionnel

S'agissant des organes hydromécaniques, on note (figure 7) que l'ensemble de la chaine cinématique ainsi que les actionneurs et les dispositifs de sécurité / protection (par exemple limiteur de couple) représentent la majeure partie des événements enregistrés. Pour autant la totalité des ensembles fonctionnels est ici représenté.

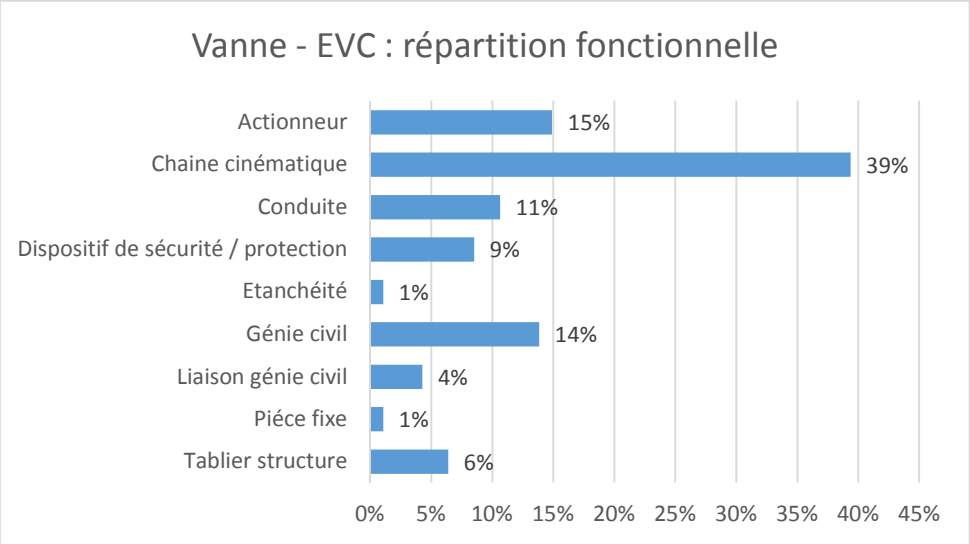


Figure 7: Base BETCGB (96 événements) : Répartition fonctionnelle des événements impliquant des vannes et évacuateurs de crue (EVC).

Il est possible, lorsque l'échantillon est suffisant, d'approfondir la distinction fonctionnelle. Par exemple, s'agissant des défaillances de la chaine cinématique, les éléments concernés sont : des vérins hydrauliques (6 cas), des vérins mécaniques (2 cas), des brimbales (1 cas), le circuit hydraulique de manœuvre (6 cas), les mécanismes (3 cas), des câbles (3 cas), des attaches de vannes (3 cas), des chaines Galles (1 cas), des mécanismes de vanne papillon (2 cas) ainsi que des chenilles de roulement de vanne (1 cas). Cette répartition est bien différente de celle de l'étude du CFBR de 1998 [10] portant sur un échantillon indépendant de 28 cas de défaillance d'EVC se répartissant de la façon suivante : dispositif de manœuvre hydraulique (3) / capteur (1) / vérin hydraulique et mécanique (2) / dispositif de sécurité (1) / arbre de synchronisation de manœuvre (3) / mécanisme (2) / chaine Galle (8) / câbles (2) / brimbales (3) / liaisons (2). Cela démontre les forts biais potentiels interdisant une traduction probabiliste sur un échantillon aussi réduit. Dans la majorité des cas (16) un défaut de conception est mis en avant, les autres causes principales identifiées étant des défauts de maintenance ou de conception.

Concernant les actionneurs, les défaillances de centrales hydrauliques (6 cas) et de manœuvre par flotteurs (6 cas) sont nombreuses. Système de contrepoids, moteurs thermiques et électriques sont également concernés (1 cas).

S'agissant du contrôle commande, le principal ensemble fonctionnel générant les événements enregistrés dans la base accidents concerne les automates (figure 8). On notera que la tendance à ajouter de l'instrumentation et des automatismes pour se prémunir des défaillances humaines ne protège pas de tous les aléas. Les capteurs (position et mesure de plan d'eau) ainsi que les dispositifs de sécurité / protection sont également impliqués dans une part non négligeable des incidents. Pourtant, c'est un domaine assez peu mis en évidence dans les analyses de risques au niveau des études de dangers.

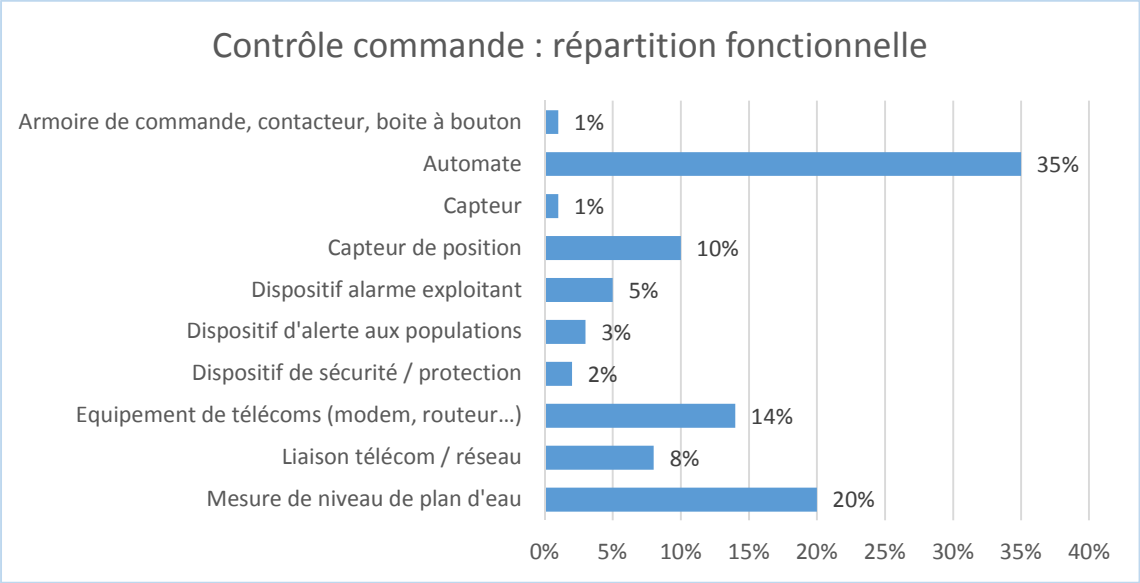


Figure 8 : Base BETCGB (99 événements) - Répartition fonctionnelle des événements impliquant l'automatisme ou le contrôle commande.

Alimentations en énergie : la plupart des événements enregistrés concernent les sources d'énergies, qu'il s'agisse de sources principales ou de secours (figure 10). Dans de nombreux cas, il s'agit de dysfonctionnement des sources de secours en situation d'essais ou de maintenance.

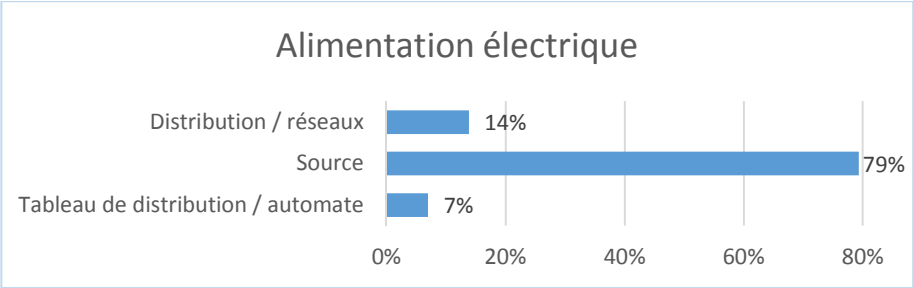


Figure 9 : Base BETCGB (29 événements) - Répartition fonctionnelle des événements impliquant l'alimentation électrique.

Les défaillances matérielles ressortent comme la principale perturbation citée dans les scénarios de défaillance des événements concernant les organes hydromécaniques et de contrôle commande (figure 10). Le niveau d'analyse des événements enregistrés ne permet pas d'établir une synthèse statistique des causes premières des incidents enregistrés. Qualitativement, dans de nombreux cas, des facteurs organisationnels peuvent être postulés. Les défauts de maintenance (56 cas), de conception (77 cas), d'organisation et de consignes procédures (19 cas) et plus rarement des erreurs humaines (10 cas) sont cités.

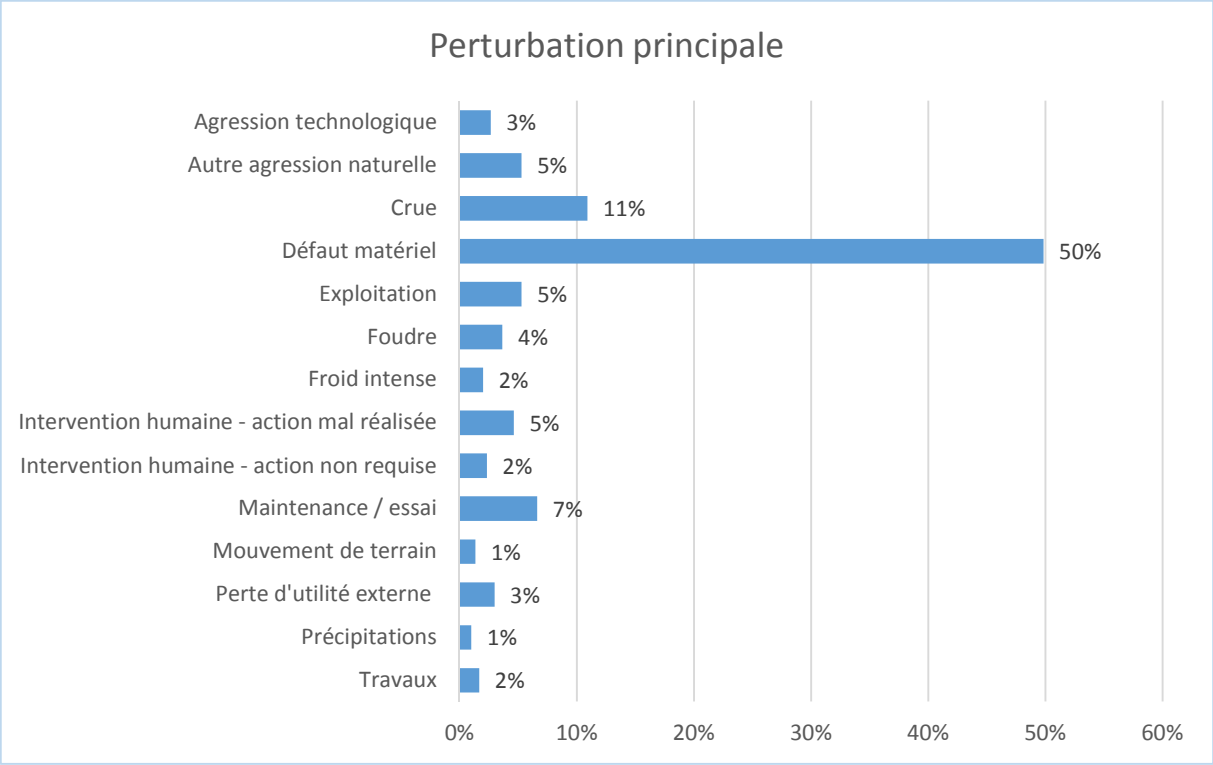


Figure 10 : Base BETCGB (303 événements) – Perturbations associées à des événements liés à la défaillance d'organes hydromécanique ou de contrôle commande.

3. Exemples d'événements

Pour 4 événements récents intéressant le domaine du contrôle commande et des organes hydromécaniques enregistrés dans la base ARIA, les figures 11 à 14 donnent, en lien avec le résumé disponible, une représentation graphique de l'événement. Ceci illustre le processus d'analyse visant à mettre en évidence les causes profondes de ces incidents. On notera que le retour d'expérience d'un événement affectant un barrage de classe D (figure 13) est largement transposable à des barrages plus importants.

3.1. ARIA 43703 - 2013 - Automatisme - Travaux

Une perte d'alimentation externe 90 kV se produit à 0h30 sur un barrage. Le groupe de production électrique se met automatiquement à l'arrêt et une alarme informe l'exploitant. En raison de travaux en cours, les vannes levantes de l'ouvrage se trouvent consignées en position fermée et le clapet automatique (à flotteur) est batardé : le débit est entièrement évacué par le clapet central. Les 2 codeurs de position du clapet central du barrage, alimentés par la même source non secourue, deviennent indisponibles et l'automate ne peut plus réguler la cote de retenue.

A l'arrivée de l'exploitant vers 1 h, la cote dépasse de 15 cm le niveau des plus hautes eaux (PHE), atteignant la zone de sollicitation de l'automate de sauvegarde (déclenchant l'ouverture du clapet central et des vannettes sur les vannes consignées). L'exploitant abaisse le clapet central en mode manuel et rétablit à 1h30 la côte normale de retenue normale, égale aux plus hautes eaux. L'usine hydroélectrique redémarre ensuite.

A la suite de l'accident, l'analyse de risques de la phase de travaux est mise à jour en intégrant un abaissement systématique du clapet central en fin de journée. De plus, le service de contrôle des ouvrages hydrauliques demande à l'exploitant de mener une réflexion globale sur son dispositif de contrôle commande (systèmes devant être secourus, modes communs de défaillance des codeurs et d'autres équipements...).

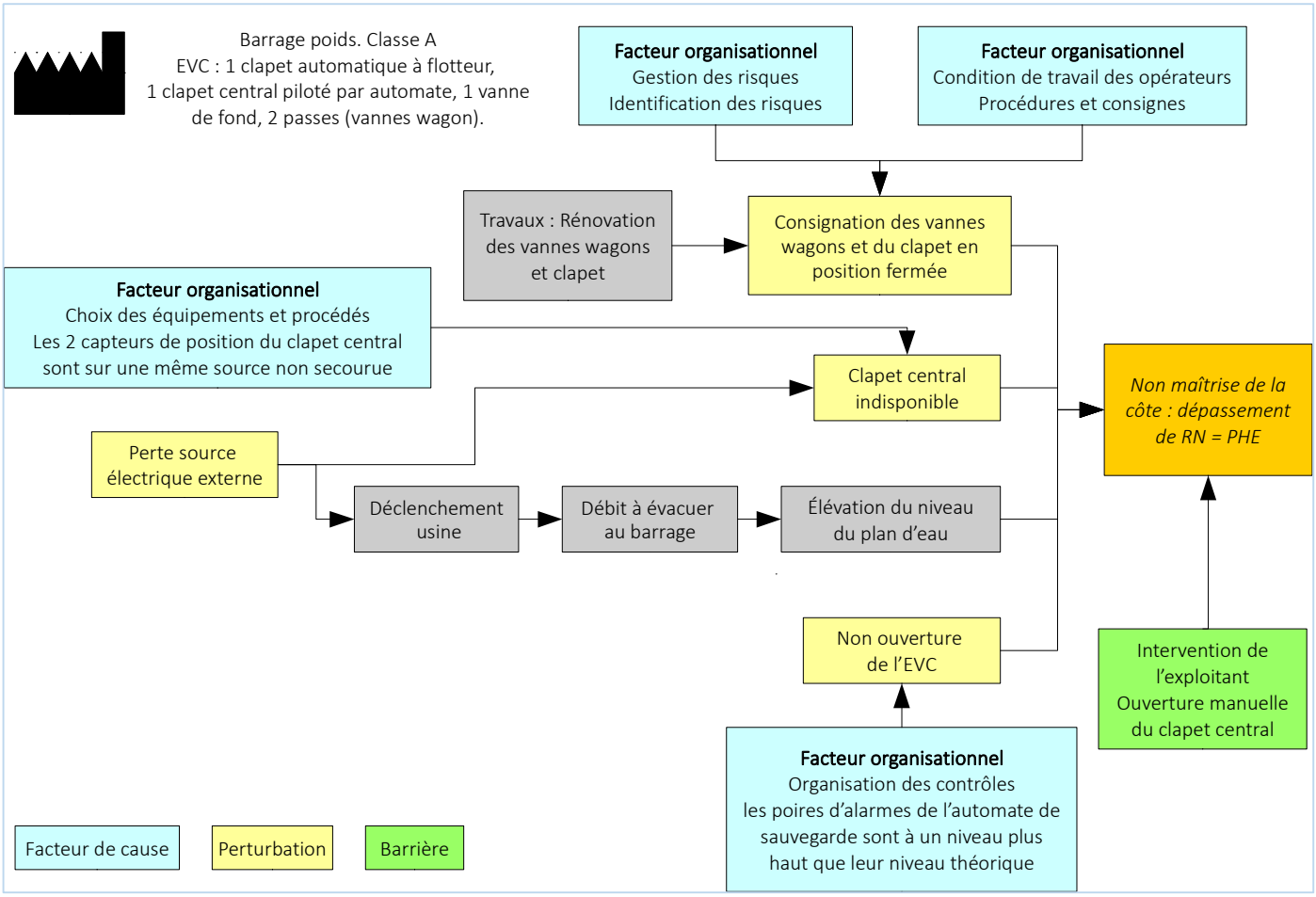


Figure 11 : ARIA 43703

3.2. ARIA 44915 - 2014 – Automatisme - Essais

Deux agents effectuent des tests de performance au niveau d'un câble de télécommunication reliant un barrage et une usine hydroélectrique. Une mauvaise manipulation provoque la perte de l'alimentation en 48 V continu du barrage ainsi que la coupure de la liaison inter-automates (perte d'alimentation des modems). L'automate principal du barrage est neutralisé et les vannes ne peuvent plus être commandées. L'eau monte et se déverse au-dessus des vannes du barrage. Le niveau est resté sous la côte PHE (519,50 m NGF). Alerté par une alarme, un agent d'astreinte se rend sur place et ouvre manuellement les vannes.

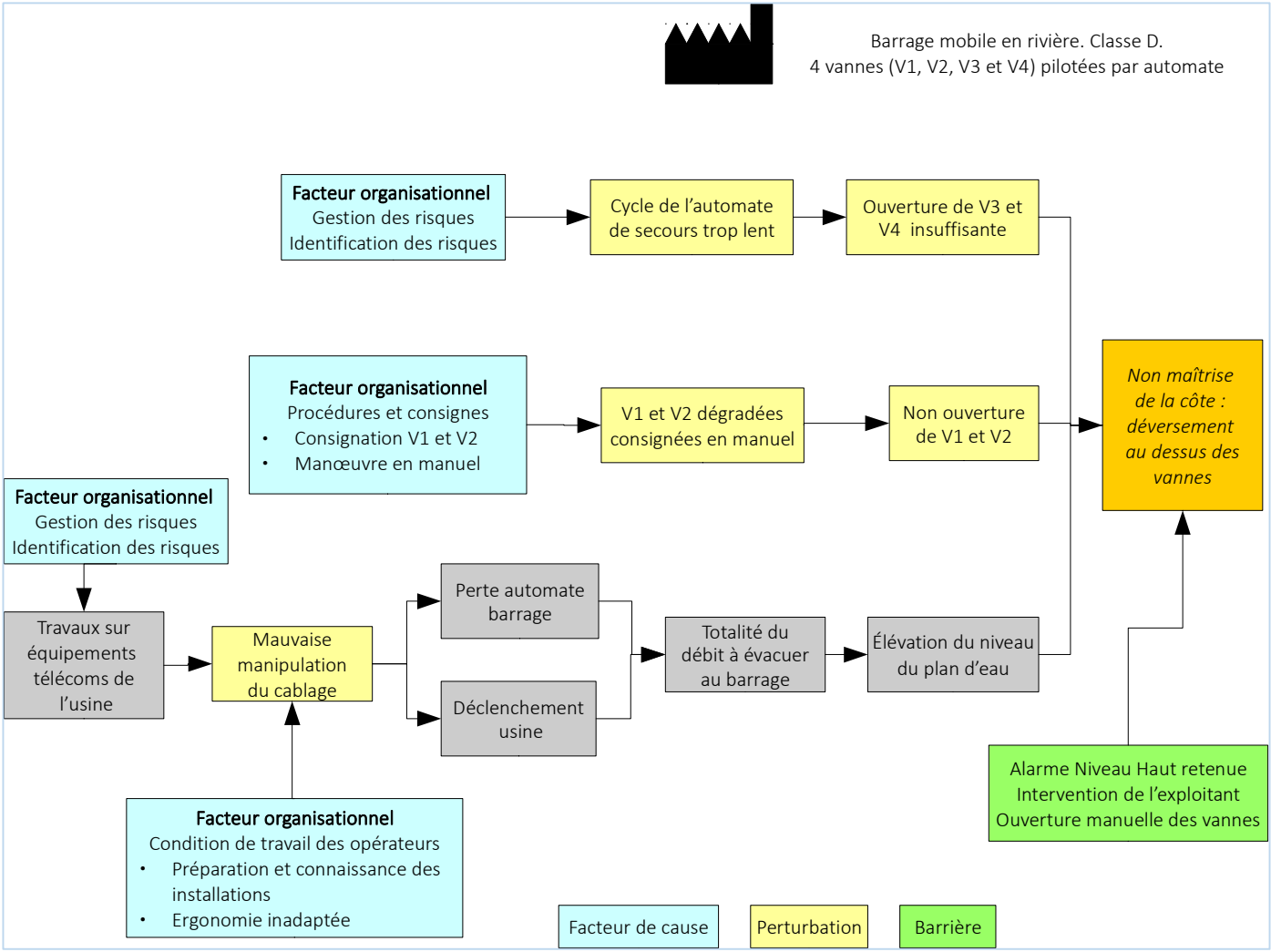


Figure 12 : ARIA 44915

3.3. ARIA 44554 – 2013 – Automatisme - Travaux

Alors que le débit du RHIN fluctue autour du débit de saturation de sa partie canalisée (grand canal d'Alsace), l'exploitant d'un barrage procède à des essais de qualification de son nouvel automate. En cas de dépassement du débit de saturation du canal, l'automate doit dévier une partie de l'eau vers le VIEUX RHIN en commandant l'ouverture de vannes d'évacuation de crue.

A deux reprises dans l'après-midi, les seuils requérant l'ouverture de ces vannes sont atteints. A 11h45, le débit du VIEUX RHIN augmente brusquement de 600 m³/s entraînant une élévation de 1,75 m du niveau d'eau à l'aval du barrage. Les vannes se referment à 12h40. A 15h23, une seconde augmentation brusque de débit de 470 m³/s entraîne une montée des eaux de 1,46 m à l'aval. Cette vague met en difficulté 3 personnes venant de s'installer, malgré l'interdiction d'accès, sur un îlot à 300 m en aval du barrage. L'une d'elles rejoint la berge allemande et donne l'alerte. Les secours allemands et français recherchent, à l'aide d'hélicoptères et de plongeurs, les deux disparus qui sont retrouvés sains et saufs en rive française à 17 h. L'exploitant du barrage remet en service l'ancien automate de régulation avec lequel les variations du débit relâché sont nettement moins importantes.

L'analyse de l'exploitant pointe des défaillances organisationnelles dans la définition des paramètres de régulation du nouvel automate : l'analyse des risques préalable à ce remplacement s'est focalisée sur la maîtrise de la cote amont du barrage et n'a pas apporté l'attention nécessaire au contrôle de débit dévié vers le VIEUX RHIN.

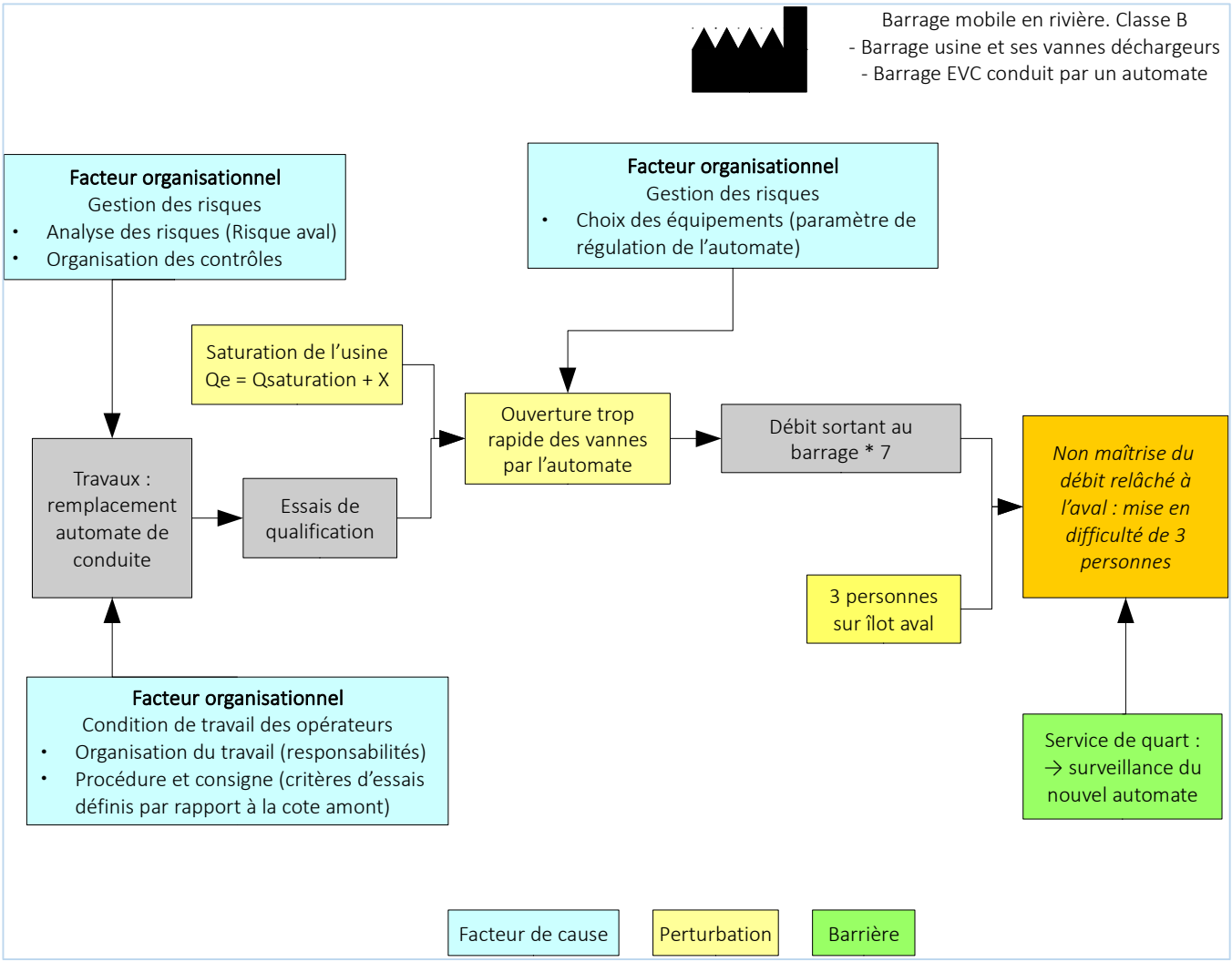


Figure 13 : ARIA 44554

3.4. ARIA 46064 – 2014 - Vanne – Crue

Lors d'un épisode de crue, le clapet automatique d'évacuation des crues d'un barrage ne s'abaisse pas. Le niveau de la retenue monte jusqu'à 22 cm au-dessus de la retenue normale. L'origine du dysfonctionnement est rapidement identifiée. La grille d'admission de la chambre du contrepoids du clapet est obstruée par des feuilles. Or c'est le remplissage de cette chambre qui déclenche l'ouverture du clapet et l'évacuation de l'eau. L'exploitant nettoie la grille ce qui permet l'abaissement immédiat du clapet et la baisse du niveau de la retenue.

A la suite de l'événement, l'exploitant planifie un contrôle visuel de la grille à chaque automne, période de remontée de la retenue et de chute des feuilles.

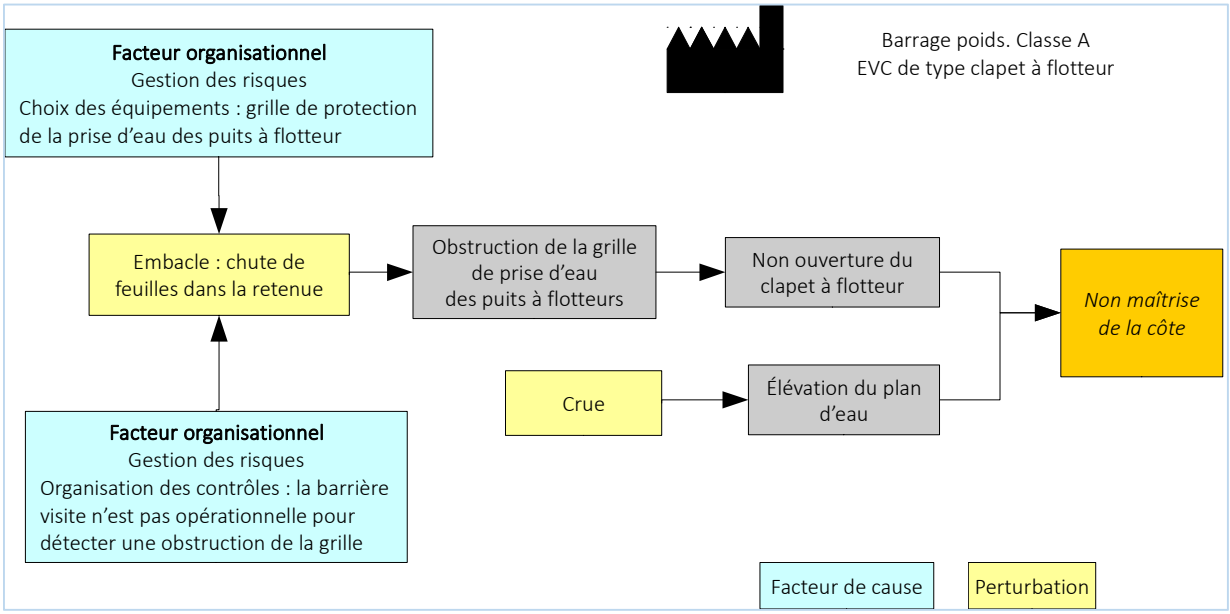


Figure 14 : ARIA 46064

Conclusion

La mise en œuvre du dispositif EISH - PSH a permis d'enregistrer et de documenter un nombre significatif d'événements exploitables pour un retour d'expérience. Accessible à tous via la base de données ARIA, ils interviennent dans la plupart des champs fonctionnels du domaine des organes hydromécaniques et de contrôle commande. Pour tirer le maximum de leçons du retour d'expérience, l'implication de tous les acteurs est nécessaire.

En premier lieu, l'engagement de l'exploitant est primordial. Le partage et la diffusion du retour d'expérience seront d'autant plus enrichissants que l'événement sera décrit et analysé en profondeur, permettant de dégager aussi bien les causes premières que les causes profondes des scénarios accidentels.

Analyser les accidents et les incidents qui se sont produits permet de partager des enseignements. Les différents acteurs de la prévention des risques peuvent ainsi mieux comprendre, agir et maîtriser les scénarios accidentels potentiels concernant chaque ouvrage. De plus, cela contribue à animer une démarche de construction collective d'une culture de la sûreté et de transmettre l'expérience acquise.

Les services de contrôles ont également un rôle important dans la démarche. Ils doivent convaincre les exploitants de l'intérêt d'être transparent sur les enseignements à tirer des accidents. Ils ont aussi pour mission de soutenir l'exploitant dans son analyse des causes et la définition de ses actions préventives et correctives. Enfin, la mise en valeur du retour d'expérience positif, notamment les mesures de maîtrise des risques qui ont fonctionné, fait partie intégrante de la démarche.

ANNEXE

A.1. Le dispositif réglementaire des EISH et PSH

Le recueil d'informations d'accidentologie en France dans le domaine des ouvrages hydrauliques ne débute pas uniquement avec la publication de l'arrêté ministériel du 21 mai 2010 [7]. On peut notamment citer les dispositifs internes mis en place par les grands maîtres d'ouvrages. Les dispositions pratiques mises en œuvre au sein de l'administration avec la circulaire du 23 juillet 2006 conduisent déjà à la déclaration des EISH pour les barrages relevant du régime de la concession. C'est à la suite du bilan de ce processus de recueil établi par un groupe de travail conduit par la Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR) que ce dispositif a été élargi aux barrages autorisés par l'arrêté de 2010, texte qui a élargi le dispositif en instituant également les PSH.

➢ Les EISH

L'arrêté ministériel du 21 mai 2010 impose la déclaration comme EISH de tout accident et incident concernant des barrages classés[1] « *relatifs à une action d'exploitation, au comportement intrinsèque de l'ouvrage ou à une défaillance d'un de ses éléments, lorsque de tels évènements ont au moins l'une des conséquences suivantes : atteinte à la sécurité des personnes (accident, mise en danger ou mise en difficulté) ; dégâts aux biens (y compris lit et berges de cours d'eau et retenues) ou aux ouvrages hydrauliques ; pour un barrage, une modification de son mode d'exploitation ou de ses caractéristiques hydrauliques (cote du plan d'eau …).* »

➢ Les PSH

Doivent être déclarés comme PSH, selon la définition fixée par l'arrêté du 21 mai 2010, est la suivante : «*Evénements précurseurs ou évolutions pouvant avoir un impact en termes de sûreté hydraulique. Sont concernés les dysfonctionnements liés aux défaillances de « barrières de sécurité », identifiées dans une étude de dangers, pouvant entraîner la perte de fonctions de sécurité du type « retenir l'eau », « maîtriser la cote de la retenue à l'amont de l'ouvrage » ou « maîtriser le débit relâché à l'aval ». Les PSH sont notamment destinés à alimenter une base de données et à faciliter la réalisation et la lecture critique de l'étude accidentologique requise dans les études de dangers des barrages.* »

De fait, la déclaration des PSH concerne la communication des évènements n'ayant pas entraîné de conséquences significatives (donc non classés comme EISH) mais qui concernent des composants ou fonctions importantes de l'ouvrage pour la maîtrise des risques. Il peut donc s'agir d'événements qui, dans des circonstances différentes (par exemple en crue), aurait pu conduire à des conséquences graves.

La réglementation a fait le choix d'adosser le dispositif de déclaration des PSH aux exigences de production d'une étude de dangers formalisant une analyse de risque pour les barrages de classes A et B et identifiant pour chaque scénario accidentel des barrières de sûreté. L'analyse d'un nombre important d'études de dangers ou de déclarations de PSH établies par des rédacteurs variés permet de constater une grande diversité dans la formalisation des analyses de risques et donc dans la définition de la notion de barrière et de leur contenu.

A.2. Enseignements et perspectives du recueil des EISH – PSH

Le recueil des événements repose sur un processus de déclaration à l'administration par les responsables des ouvrages, donnant lieu à un classement selon une échelle de gravité, ainsi qu'à des

[1] Au sens du décret du 11 décembre 2007 relatif à la sûreté des ouvrages hydrauliques et de l'article R214-112 du Code de l'Environnement

échanges permettant d'établir une analyse des causes. Cette analyse des causes, selon la complexité de l'événement, peut nécessiter des investigations de la part du responsable de l'ouvrage. Le processus de recueil du REX est décrit par la figure 1. Dès la connaissance d'un événement par l'administration, celui-ci fait l'objet d'un enregistrement dans la base ARIA par le BARPI, en relation avec le BETCGB.

Délais de déclaration des PSH et EISH :

Les événements doivent faire l'objet d'une déclaration sous des délais d'autant plus brefs que la gravité des conséquences est importante : immédiat pour les EISH rouge et dans les meilleurs délais sans excéder une semaine pour les EISH orange, sous un mois pour les EISH jaune. Les PSH doivent être déclarés à minima au pas annuel, accompagnés d'une analyse des causes.

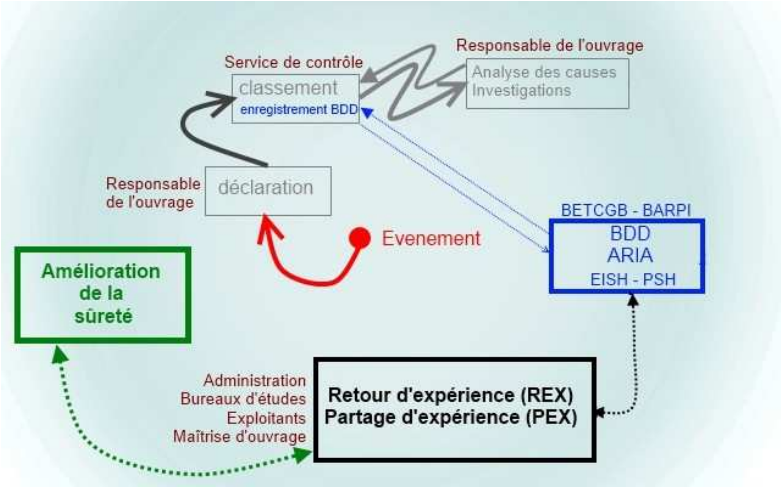


Figure 1: Processus d'élaboration du REX : recueil et échanges entre acteurs

Un groupe de travail de 2009 sur les EISH a établi une fiche modèle de déclaration [2]. Elle donne les bases d'une déclaration d'un événement et invite à l'analyse des circonstances, des conséquences, des domaines fonctionnels concernés ainsi qu'à la recherche des enseignements tirés. Cette fiche est désormais d'usage courant, ce qui permet d'établir une première catégorisation des circonstances et causes premières des événements. La déclaration faisant immédiatement suite à l'événement ne peut, dans bien des cas, établir une analyse suffisante des causes profondes de l'événement. La première étape de communication de l'événement, essentiellement descriptive, doit donc être accompagnée d'une seconde étape d'analyse, établissant avec certitude aussi bien les causes premières (les perturbations) que les causes profondes de l'événement.

S'agissant des EISH déclarés jusqu'à présent il est rare que les analyses ultérieures établissant les causes profondes de l'incident fassent également l'objet d'une formalisation et d'une transmission à l'administration. De fait, les déclarations d'EISH demeurent pour le moment essentiellement descriptives et centrées sur la défaillance de composants matériels des installations. L'analyse des causes et la description des mesures correctives sont autant de points qui restent, dans la plupart des cas, documentées partiellement, ne reprenant que les éléments connus lors de la déclaration. Quelques cas ont cependant fait l'objet d'analyses complémentaires.

Un nombre significatif d'événements ne mettent pas directement en cause la sûreté des ouvrages hydrauliques : il s'agit notamment des mises en danger de personnes dans le cadre du fonctionnement normal d'une installation. Ceci est dû à l'historique du dispositif EISH dont le but initial était une communication vers le public, d'urgence et de pédagogie, sur les dangers à l'aval des installations hydrauliques. Ces événements, s'ils participent à l'appréciation du risque aval, problématique majeur vis-à-vis de la sécurité des personnes, n'apportent souvent que peu d'informations en termes de scénarios accidentels pouvant affecter l'ouvrage.

Le BETCGB a conduit en 2015 une analyse sur un recueil des PSH de 2013 transmis par les services de contrôle. La très grande variabilité des contenus et des événements concernés ne permet pas d'intégrer tous ces événements à la base de données ARIA. De façon générale, l'analyse des déclarations permet de constater que le niveau de description et, a fortiori, d'analyse est très notablement réduit par rapport aux déclarations d'EISH, se réduisant à la défaillance matérielle

observée. L'identification des conséquences potentielles et des scénarios accidentels redoutés n'est pas systématique. Le périmètre de déclaration est très variable selon les responsables d'ouvrages, en raison des divergences d'interprétation de la notion de barrière de sécurité ou de perte de barrière de sécurité ainsi que par l'hétérogénéité des analyses de risques conduites dans le cadre des études de dangers.

Depuis 2010, près de 200 EISH ont fait l'objet d'une déclaration. L'extension du dispositif au parc des ouvrages autorisés n'a pas réellement conduit à une augmentation du nombre de déclarations qui reste stable autour d'une quarantaine par an. La majorité (54 %) des EISH déclarés concernent des ouvrages concédés. Le processus de recueil, encore jeune, connaît des difficultés de remontée des informations ; soit les événements ne font pas l'objet de déclaration, soit la transmission aux services de contrôle puis aux services d'appui technique n'est pas encore pleinement opérationnelle. En toute logique, les déclarations de PSH concernent un nombre d'événements notablement plus important que les EISH.

Aussi bien concernant les EISH que les PSH, les premières années de fonctionnement du dispositif permettent de constater un tropisme à se limiter à l'identification des causes matérielles. Les inspections des services de contrôle peuvent être l'occasion d'approfondir l'analyse des événements observés et d'améliorer notablement la richesse du retour d'expérience.

A.3. La base ARIA : Analyse, Recherche et Information sur les Accidents.

Le site internet www.aria.developpement-durable.gouv.fr permet d'accéder aux différentes productions du BARPI. Ce site héberge également la base de données ARIA, noyau dur de la capitalisation du retour d'expérience qui recense 47 000 évènements concernant un large périmètre d'activités concernées. Les professionnels et le public peuvent donc explorer la base à l'aide d'un moteur de recherche. Afin d'encourager les efforts de partage des informations, le principe de l'anonymat s'applique à l'ensemble des accidents figurant dans les publications. Seul le nom de la commune est communiqué pour permettre les recherches par critères géographiques.

La recherche d'événements dans la base ARIA peut s'effectuer de différentes façons. Plusieurs filtres sont proposés. Le filtre principal permet de définir les critères les plus larges. La recherche peut alors s'effectuer par date, par période ou par lieu ; il est possible de cibler la recherche sur les ouvrages hydrauliques en sélectionnant ce champ dans l'onglet « Type d'événement ». La mise en cause de la sécurité hydraulique peut également être un critère de recherche en sélectionnant ce champ dans l'onglet « Phénomène ». Une fois ce critère coché, il est possible d'effectuer une recherche plus précise encore en sélectionnant le champ « EISH ». Cette sélection permet de n'obtenir que les événements ayant fait l'objet d'une déclaration d'EISH au sens de l'arrêté du 21 mai 2010. Les filtres secondaires permettent d'employer des critères supplémentaires : selon des mots clés (présent ou absent) du résumé, selon les conséquences humaines, environnementales ou économiques (onglet conséquence). Enfin, il est possible de n'étudier que les événements initiés par certaines familles de causes premières ou profondes.

La base ARIA a initialement été conçue pour rassembler des informations sur les accidents industriels, en particulier pour les activités visées par la nomenclature des installations classées. Afin d'assurer un retour d'expérience le plus large possible dans le domaine de l'hydraulique, le périmètre de saisie dans ARIA inclut les évènements qui ont fait l'objet d'une déclaration EISH ou PSH ainsi que ceux vérifiant les critères et en attente de déclaration. Des événements par nature non-déclarés, par exemple survenus à l'étranger ou sur un ouvrage n'entrant pas dans la nomenclature « loi sur l'eau » mais apportant un retour d'expérience transposable, sont également inclus.

Les sources d'information sont variées. Les services de contrôle s'intéressent en premier lieu aux causes de l'accident dans une perspective de prévention à la source. Les services de secours privilégient la chronologie des faits et apportent des enseignements précieux sur la cinétique de développement du sinistre et les difficultés d'intervention rencontrées. Enfin, les médias reflètent le regard de la société sur l'événement.

Références et citations

[1] CIGB Bulletin 99 – Bulletin 109

[2] Brandon E, Rival F (2010). Apports de l'analyse des événements importants pour la sureté hydraulique (EISH) dans les études de dangers de barrages. *Colloque CFBR / AFEID : Pratique des études de dangers des barrages 28-29 novembre 2011, Lyon*

[3] Laloux S, Castel Y, Boubée D (2011), analyse de risques : comment faire quand la statistique ne suffit plus, *Colloque CFBR / AFEID : Pratique des études de dangers des barrages 28-29 novembre 2011, Lyon*

[4] Lewin J, Ballard G, Bowles DS (2003) Spillway gate reliability in the context of overall dam failure risk. *USSD Annual Lecture 2003*

[5] Dam Safety Committee New South Wales - Reliability of spillway flow control systems – juin 2010

[6] Eury S-P, Rival F, Robache A (2014). ARIA 3 Identifier les causes profondes des accidents industriels par une modélisation graphique*. J. Math. Phys, 33, 308-330.*

[7] Arrêté du 21 mai 2010 définissant l'échelle de gravité des événements ou évolutions concernant un barrage ou une digue ou leur exploitation et mettant en cause ou étant susceptibles de mettre en cause la sécurité des personnes ou des biens et précisant les modalités de leur déclaration ; Journal Officiel de la République Française du 11 juin 2010

[8] Deroo L, Jimenez B. Note sur l'accidentologie des barrages poids. Colloque CFBR / AFEID : Pratique des études de dangers des barrages 28-29 novembre 2011, Lyon

[9] Fry J.J Couriveau JR, Lévèque L (2015). Typologie des incidents d'érosion interne dans les fondations de barrage. *CFBR*.

[10] Bister D (1998) Synthèse du groupe de travail CFGB sur la sécurité des barrages et évacuateurs en service lors des crues. *Colloque CFGB 1998*

[11] Feuillas D, Fiabilisation des évacuateurs de crues (EVC) du parc de la CNR, Colloque CFBR-SHF « Dimensionnement et fonctionnement des évacuateurs de crues » 20-21 janvier 2009, Lyon

[12] Cottin L (2009). Les évacuateurs de crues des barrages hydroélectriques concédés ; vue synthétique du parc (2009), *Colloque CFBR-SHF « Dimensionnement et fonctionnement des évacuateurs de crues » 20-21 janvier 2009, Lyon*

[13] Bulletin ICSI n° 2014 04 : FHOS l'analyse approfondie d'évènement. Groupe de travail « amélioration du processus d'analyse d'incident » - Les Cahiers de la Sécurité Industrielle

[14] Prevot G, Schriqui C, Cloix R, Dieudonné S, Mériaux P, La vantellerie et le contrôle commande dans les livrables réglementaires : la vision des services de contrôles et de leur appui technique, *Colloque CFBR « Vantellerie, contrôle commande, télécom et alimentations électriques pour des barrages plus sûrs » 2-3 décembre 2015, Chambéry*

[15] Gastaud C, Gauthier A, Enseignements tirés des événements importants pour la sûreté hydraulique (EISH) et éléments de retour d'expérience (REX) sur les organes hydromécaniques et de contrôle commande des barrages, *Colloque CFBR « Vantellerie, contrôle commande, télécom et alimentations électriques pour des barrages plus sûrs » 2-3 décembre 2015, Chambéry*

ACCIDENTS TECHNOLOGIQUES EN LIGNE

Sécurité et transparence sont deux exigences légitimes de notre société.

Aussi, depuis juin 2001 le site www.aria.developpement-durable.gouv.fr du Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer, propose-t-il aux professionnels et au public des enseignements tirés de l'analyse d'accidents technologiques. Les principales rubriques du site sont présentées en français et en anglais.

Sous les rubriques générales, l'internaute peut, par exemple, s'informer sur l'action de l'Etat, disposer de larges extraits de la base de données ARIA, découvrir la présentation de l'échelle européenne des accidents, prendre connaissance de l'indice relatif aux matières dangereuses relâchées pour compléter la «communication à chaud » en cas d'accident ou d'incident. La description des accidents, matière première de toute démarche de retour d'expérience, constitue une part importante des ressources du site : déroulement de l'événement, conséquences, origines, circonstances, causes avérées ou présumées, suites données et enseignements tirés.

Une centaine de fiches techniques détaillées et illustrées présente des accidents sélectionnés pour l'intérêt particulier de leurs enseignements. De nombreuses analyses par thème ou par secteur industriel sont également disponibles. La rubrique consacrée aux recommandations techniques développe différents thèmes : chimie fine, pyrotechnie, traitement de surface, silos, dépôts de pneumatiques, permis de feu, traitement des déchets, manutention...

Une recherche multicritères permet d'accéder à l'information sur des accidents survenus en France ou à l'étranger. Le site www.aria.developpement-durable.gouv.fr s'enrichit continuellement. Actuellement, près de 47 000 accidents sont en ligne et de nouvelles analyses thématiques verront régulièrement le jour.

© Reproduction interdite sans autorisation du BARPI

Les résumés des évènements présentés sont disponibles sur le site :
www.aria.developpement-durable.gouv.fr

Bureau d'analyse des risques et pollutions industriels
5 place Jules Ferry
69006 Lyon
Téléphone : 04 26 28 62 00

Bureau d'étude technique et contrôle des grands barrages
44 avenue Marcelin Berthelot
38030 Grenoble Cedex 02
Téléphone : 04 78 62 50 50

Service des risques technologiques
Service des risques naturels et hydrauliques
Direction générale de la Prévention des risques
Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer
Tour Sequoia
92055 La Défense cedex
Téléphone : 01 40 81 21 22

Coordination :
Annie NORMAND, Christian VEIDIG (BARPI)
Rédaction :
Clément GASTAUD (BETCGB)
Annelaure GAUTHIER (BARPI)

Crédits photos : BETCGB

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer