



**POLITECNICO
DI TORINO**

Deliverable del WP 4.2.1

Sviluppo di uno strumento di gestione: definizione di uno strumento a supporto degli ingegneri per la gestione di situazioni di emergenza

Programma europeo di cooperazione transfrontaliera tra Francia e Italia,
ALCOTRA 2018-2020, Progetto RESBA, RESilienza degli SBarramenti

Relatori

Prof. D. Poggi
Ing. D. Ganora, Ph.D.

Sommario

In questo deliverable si affronta il tema della quantificazione e classificazione del rischio idraulico connesso alla presenza di invasi artificiali con particolare attenzione al territorio piemontese e valdostano. Questo WP in particolare affronterà la problematica relativa alla classificazione degli sbarramenti di competenza regionale. Lo scopo è quello di presentare una metodologia di facile utilizzo, ma che abbia delle solide basi statistiche, per gestire gli invasi da un punto di vista della pericolosità intrinseca. Il deliverable principale di questa attività è un software, scritto in Microsoft Excel, che permette di attribuire un coefficiente di rischio allo sbarramento in esame. L'utente del software ha il compito di ispezionare lo sbarramento e, allorchè presenti, i progetti e le analisi idrologiche. Durante l'ispezione, sulla base di una tabella delle anomalie presentata qui di seguito, l'utente attribuisce un giudizio qualitativo allo sbarramento. Questi giudizi vengono utilizzati dal software per fornire un grado di pericolosità degli sbarramenti. Il cuore del software, non direttamente visibile all'utente, è costituito da una serie di alberi d'evento che verranno di seguito descritti. L'innovazione principale del lavoro risiede nella scelta di un set di pesi basati su un'approfondita analisi dei database mondiali di incidenti sulle dighe. Come verrà di seguito descritto, l'analisi degli incidenti a scala mondiale ha permesso di valutare quali siano le probabilità attese di accadimento di ogni singolo albero di evento e, di conseguenza, quale sia il set di pesi che permette di rispettare tali probabilità.

Dopo un inquadramento delle grandi dighe presenti tra Piemonte e Valle d'Aosta si considera il problema del rischio idraulico sul territorio. Infatti, gli invasi, oltre ad essere una risorsa per la protezione idraulica del territorio, per fini idroelettrici, irrigui e potabili, sono anche un fattore di rischio per il territorio su cui insistono. Nel capitolo successivo si presenta l'interfaccia del software, le anomalie ed i relativi giudizi qualitativi. Successivamente si descrive il database utilizzato e gli alberi di evento sui quali il software è fondato.

Indice

1. Introduzione	3
1.1 Premessa	3
1.2 I piani di emergenza connessi alle dighe: impatto su grandi aree	5
1.3 Il sistema di grandi dighe In Piemonte e Valle d'Aosta	7
1.4 Il sistema delle stazioni di misura delle portate in Piemonte e Valle d'Aosta. Misura dei volumi di piena.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
1.5 Obiettivi delle analisi relative alle aree a valle di grandi dighe.....	12
1.6 Obiettivi delle analisi relative alle aree a valle di piccole dighe	14
2. L'interfaccia del software e le anomalie utilizzabili.....	16
ELEMENTI STRUTTURALI.....	24
CORONAMENTO	24
PARAMENTO DI VALLE	26
PARAMENTO DI MONTE	29
PERMEABILITA' DEL CORPO DIGA	30
ZONE DI CONTATTO CORPO DIGA - VERSANTI.....	32
INVASO	33

Capitolo 1

Introduzione

1.1 Premessa

Gli invasi artificiali in Italia sono in numero consistente ma, in una evoluzione bloccata dopo il boom degli anni 50. Le nuove dighe sono andate via via diminuendo e l'età media del nostro parco dighe è di circa 65 anni.

Parlando di dighe e rischio idraulico il primo pensiero nella mentalità comune va senza dubbio all'aumento della pericolosità per i territori a valle legata alla presenza dello sbarramento stesso. In realtà la pericolosità della diga è un fattore del rischio quantificabile sulla base delle caratteristiche della diga stessa, in particolare della probabilità di danno o malfunzionamento di ciascuna delle sue parti. Per le grandi dighe di competenza nazionale (volume d'invaso $V \geq 1 \text{ Mm}^3$ o altezza dello sbarramento $h_d \geq 15 \text{ m}$ secondo la legge 21/10/1994 n. 584 e con $h_d \geq 15 \text{ m}$ e $h_d^2 V^{0.5} \geq 200$ secondo l'ICOLD) sono previsti controlli e interventi di manutenzioni con cadenza regolare, e ciò va a ridurre tale probabilità di accadimento. In quest'ottica le grandi dighe esistenti vengono considerate, in questa tesi, come una risorsa per i territori di valle non solo in ambito produttivo ed economico ma anche per quanto riguarda la riduzione del rischio alluvionale.

Un'efficace frase introduttiva sull'impatto delle dighe sul territorio può essere ripresa dal sito www.dighe.eu, che riporta -tra l'altro- un chiaro ed esaustivo contributo sulla normativa italiana, in gran parte ripreso nel seguito. La frase recita:

“La presenza di una diga su un corso d'acqua, a meno di un crollo rovinoso della diga stessa o delle sponde del bacino (Vajont) e a meno di manovre incongrue degli organi di scarico, è di per sé un fattore positivo agli effetti della tutela dei territori di valle dalle inondazioni. La diga, infatti, intercetta le acque di piena che affluiscono da monte, favorendone l'invaso temporaneo nel bacino e attenuando in tal modo le portate massime rilasciate a valle nel corso della piena”(Ghinami, 2019).

La normativa italiana inerente le grandi dighe è abbastanza articolata. Si può suddividere in normative inerenti la costruzione e normativa inerente l'esercizio e la sicurezza sia dell'opera che dei territori a valle (per i dettagli si rimanda all'Allegato 1).

Il primo regolamento e la prima norma tecnica risalgono al 1921 (Decreto del Ministro dei LL.PP. 2 aprile 1921 "Norme generali per i progetti e per la costruzione di dighe di sbarramento per serbatoi e laghi artificiali") e sono relative unicamente alle fasi di costruzione e progettazione.

L'organismo vigilante sulla sicurezza delle grandi dighe in Italia, è attualmente la Direzione Generale per le Dighe e le Infrastrutture Idriche ed Elettriche che fa capo al Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (MIT).

Negli anni precedenti la denominazione e collocazione del soggetto competente si è modificata diverse volte (v.es. Mazzotta et al., 2008 per un'approfondita analisi storica):

- dal 1925 (2 anni dopo il disastro del Gleno) al 1989-91 era presente un *Servizio Dighe* presso il Consiglio Superiore dei LL.PP. e sul territorio le funzioni erano volte dagli Uffici Genio Civile – Provveditorati regionali Opere Pubbliche il tutto facente capo al Ministero dei Lavori Pubblici;
- dal 1991 al 2003 con la L. n.183/89 "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo" (nel 1985 si era verificato il disastro di Stava) la competenza passa alla Presidenza del Consiglio dei Ministri e nasce il Servizio Nazionale Dighe (SND) presso il Dipartimento Servizi Tecnici Nazionali mentre sul territorio nascono Uffici Periferici SND;
- dal 2003 al 2006, a seguito dell'attuazione del decentramento amministrativo e del decreto legislativo 31 marzo 1998, n. 112 (art. 91) il SND viene eliminato e trasformato nel Registro Italiano Dighe (RID) così come gli uffici periferici diventano Uffici Periferici del RID;
- dal 2008 il regolamento di riorganizzazione del MIT di cui al decreto del Presidente della Repubblica 3 dicembre 2008, n. 211 ha inserito la Sede Centrale del RID nella Direzione Generale per le Dighe (DGD) e le Infrastrutture Idriche ed Elettriche e i nove Uffici Periferici del RID sono stati trasformati in Uffici Tecnici per le Dighe che, benché incardinati logisticamente nei Provveditorati Interregionali per le Opere Pubbliche territorialmente competenti, mantengono la dipendenza funzionale dalla Direzione Generale per le Dighe e le Infrastrutture Idriche ed Elettriche.

In sintesi sia l'articolazione che le attribuzioni dell'ex SND - RID, come delineate dalla normativa di settore previgente, permangono attualmente.

1.2 I piani di emergenza connessi alle dighe: impatto su grandi aree

Relativamente alla tutela delle zone a valle di grandi sbarramenti a fronte di un possibile malfunzionamento degli scarichi, di gravi anomalie (geologiche, strutturali ecc.) o del collasso parziale o totale dello sbarramento, la prima normativa risale al 1987: Circ. Min. Int. 20/3/1987, n. 13 MI. PC. (87) 7 “Piani di emergenza per incidenti alle dighe di ritenuta di cui al regolamento approvato con D.P.R. n. 1363 dell’1/11/1959. Infatti il Regolamento D.P.R. 1° novembre 1959, n. 1363 si limitava a prescrivere la gestione in sicurezza dello sbarramento e delle opere accessorie, implicitamente assumendo che eventuali fenomeni alluvionali a valle non avrebbero potuto essere ricondotti alla presenza della diga, che anzi ne avrebbe favorito il contenimento. Le disposizioni normative che si sono aggiunte al Regolamento del 1959 a partire dalla seconda metà degli anni ’80, conseguenti anche a incidenti ed eventi disastrosi occorsi in Italia e all’estero, indicano una nuova consapevolezza circa i rischi che possono aversi (o che possono essere prevenuti) nei territori di valle per effetto della presenza di una diga. Lungo gli alvei a valle delle dighe devono essere installati cartelli monitori di tipo unificato ed ogni diga deve essere provvista di una sirena destinata ad entrare in funzione “esclusivamente per manovre di apertura volontaria degli organi di scarico per avvisare dell’arrivo dell’onda di piena le persone eventualmente presenti nell’area immediatamente a valle dello sbarramento e nelle zone dell’alveo adiacenti gli sbocchi degli scarichi”. Devono essere inoltre acquisiti gli studi sulle conseguenze che hanno sui territori di valle le manovre eccezionali degli organi di scarico della diga e l’ipotetico crollo della diga stessa, e deve essere valutata la massima portata scaricabile a valle che rimanga contenuta in alveo, o meglio nella “fascia di pertinenza fluviale” (circolari Min. LL.PP. 28 agosto 1986, n. 1125 e 4 dicembre 1987, n. 352, e successive circolari P.C.M. 13 dicembre 1995, n. DSTN/2/22806 e 19 marzo 1996, n. DSTN/2/7019).

Una volta acquisiti gli studi e le valutazioni predette, risultano definiti, con sufficiente approssimazione, degli scenari di rischio composti di elementi noti:

- gli eventi di piena artificiale possibili con probabilità di accadimento alta (manovre normali degli organi di scarico), bassa (manovre eccezionali) e estremamente bassa (ipotetico crollo della diga);
- le aree esposte ai diversi eventi prima individuati: *a*) area di pertinenza fluviale interessata dalle manovre normali degli organi di scarico, *b*) area sommersa per le manovre eccezionali degli organi di scarico, *c*) area sommersa per ipotetico crollo della diga;
- le popolazioni ed i beni presenti in ciascuna delle aree prima indicate e delimitate nella cartografia allegata agli studi.

Gli “*scenari degli incidenti probabili*” così definiti dovranno costituire la base conoscitiva e documentale per la redazione del piano di emergenza della diga (PED) da parte delle Autorità di protezione civile, a tutela delle popolazioni e infrastrutture esposte alle diverse ipotesi di rischio (la redazione di tali piani è affidata dalla direttiva P.C.M. 8 luglio 2014 alle regioni, “*in raccordo con le prefetture-UTG territorialmente interessate*”. Le regioni, sulla base della direttiva P.C.M. 27 febbraio 2004, sono inoltre chiamate a individuare “*quegli invasi che potrebbero essere effettivamente utili alla laminazione delle piene e quindi ad una riduzione del rischio idraulico a valle degli invasi stessi. (...) Per tali invasi le Regioni, con il concorso tecnico dei Centri Funzionali decentrati, dell’Autorità di bacino e del Registro italiano dighe [oggi Direzione Dighe del M.I.T.], d’intesa con i gestori, sotto il coordinamento del Dipartimento della protezione civile, predisporranno ed adotteranno un piano di laminazione preventivo*”.

Le modalità con cui il concessionario/gestore dovrà esercire la diga in sicurezza secondo un piano di attività dettagliato nel “*Foglio di condizioni per l’esercizio e la manutenzione*” (FCEM) e gestire le eventuali emergenze diramando le opportune comunicazioni ed eseguendo le manovre di scarico necessarie anche in applicazione del “*piano di laminazione*” ove predisposto e adottato, sono definite dalla circolare Min. LL.PP. 4 dicembre 1987, n. 352 e dalla successiva circolare P.C.M. 19 marzo 1996, n. DSTN/2/7019 poi sostituita dalla direttiva P.C.M. 8 luglio 2014.

Le attività del concessionario/gestore in occasione delle emergenze sono pianificate nel “*Documento di protezione civile*”, uno specifico allegato del FCEM introdotto dalla circolare Min. LL.PP. 4 dicembre 1987, n. 352 e successivamente riformato dalla circolare P.C.M. 19 marzo 1996, n. DSTN/2/7019 e dalla direttiva P.C.M. 8 luglio 2014. Quest’ultima prevede che le disposizioni del piano di laminazione, ove adottato, o differenti specifiche disposizioni emanate dall’Autorità regionale preposta al governo delle piene prevalgano su quelle del Documento di protezione civile. Inoltre conserva il principio (già enunciato dalla circolare P.C.M. 19 marzo 1996, n. DSTN/2/7019) del “*non aggravamento dell’evento di piena*”, cioè l’obbligo *a)* di non scaricare a valle, nella fase crescente della piena, una portata superiore a quella affluente al serbatoio, e *b)* di non scaricare a valle, nella fase decrescente della piena, una portata superiore alla massima scaricata nella fase crescente. Il concessionario/gestore può derogare a tale obbligo solo in caso di diverse disposizioni impartite con un ordine specifico da parte dell’Autorità competente, o inserite nell’eventuale piano di laminazione predisposto ai sensi della direttiva P.C.M. 27 febbraio 2004.

Perno delle attività di ricerca svolte in questa tesi sono i Piani di Emergenza Dighe (PED), previsti dalla Direttiva P.C.M. 8 luglio 2014 per supportare la gestione del rischio alluvionale per i territori a valle delle dighe. Per questi territori le regole di gestione delle opere di scarico in caso di evento idrologico estremo e gli scenari di possibile incidente (apertura scarichi e collasso opera) sono eventua-

lità che possono avere importanza ben maggiore di quella corrispondente all'usuale valutazione del rischio alluvionale per il solo evento idrologico estremo. I PED per i grandi invasi sono documenti che servono a gestire in modo coordinato, programmato e sicuro ogni situazione di rischio legata alla presenza di una diga nel territorio, costruendo scenari di aree allagabili per ipotetico collasso dell'invaso o errata manovra degli organi di scarico. Tali piani servono a definire le strategie operative e le azioni da mettere in campo per l'allertamento, la prevenzione, la gestione dell'emergenza e l'assistenza alla popolazione.

In riferimento alla periodicità dei controlli e alla manutenzione programmata e non, presentano certamente aspetti di maggior criticità le piccole dighe (Pisaniello, 2011). Nella grande diffusione sul territorio di questi invasi (nella sola regione Pie-monte si parla di rapporti dell'ordine di 10 a 1 rispetto alle 'grandi' dighe) è insita la maggior pericolosità: si tratta infatti di un rischio diffuso sul territorio, di cui comuni e amministrazioni locali sono chiamate a tenere conto nei piani di emergenza comunali preso atto anche delle zone abitate, industriali o dedite alla produzione agricola e all'allevamento presenti immediatamente a valle dei piccoli invasi.

Considerando la Regione Piemonte, è del 2018 la Determina Dirigenziale 21 febbraio 2018, n. 486 con la quale è prevista la stesura di un Piano Emergenza Dighe (PED) anche per gli invasi di competenza regionale.

1.3 Il sistema di grandi dighe In Piemonte e Valle d'Aosta

In Italia esistono più di 9000 sbarramenti che la legge n°584 del 1994 distingue tra "grandi dighe" e "piccole dighe". Gli sbarramenti che hanno un'altezza maggiore o uguale a 15 metri o un volume di invaso maggiore o uguale a un milione di metri cubi rientrano nella prima categoria e sono di competenza della Direzione Generale Dighe mentre le altre sono di competenza delle Regioni (quelle piemontesi per esempio sono sotto il controllo del settore Difesa del Suolo).

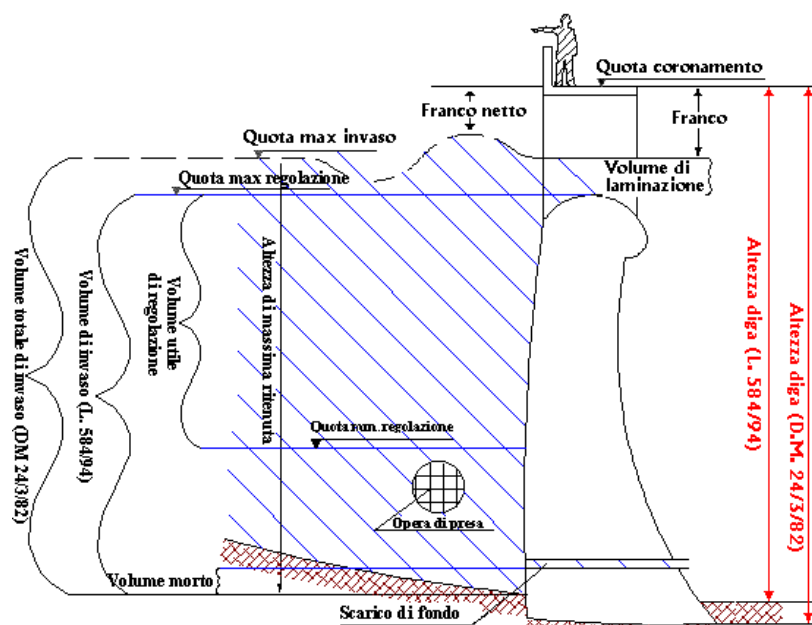


Figura 1: principali elementi e grandezze di una diga secondo la vigente normativa italiana (schema tratto dal sito www.dighe.eu a cura dell'Ing. Luigi A. Ghinami).

Dei 9000 sbarramenti presenti 537 (dato aggiornato al 2016) sono classificati come grandi dighe e hanno un'età media superiore ai 60 anni, da tener presente che oltre 200 sono state costruite prima della II Guerra Mondiale. Sul territorio nazionale le dighe sono suddivise in modo eterogeneo in tutte le regioni; la Lombardia detiene il primato con 77 grandi dighe, seguita da Piemonte (con 60 grandi dighe) e Sardegna (con 59). In Figura 1, a titolo di riferimento per tutta la trattazione, è riportato uno schema dei principali elementi e grandezze di una diga secondo la vigente normativa italiana.

In questa tesi, nel capitolo 3, verranno considerati 56 invasi artificiali di competenza dell'UTD TO. Di questi 50 si trovano sul territorio piemontese, mentre i rimanenti 7 su quello della Valle d'Aosta. In Figura 2 è riportata la posizione geografica delle dighe considerate i cui dati, reperiti per lavori precedenti grazie all'ing. Petaccia e alla Direzione Generale Dighe (all'epoca RID) sono elencati nell'Allegato 2.

Per quanto riguarda il Piemonte, la sua orografia ben si presta alla realizzazione di sbarramenti, i suoi confini sono definiti a Nord e ad Ovest dalle Alpi e a sud dagli Appennini. Le valli piemontesi presentano oggi numerosi sbarramenti costruiti nel 1900 con un'età media di circa 75 anni. Sono per la maggior parte situati nelle gole scavate dall'erosione fluvio-glaciale dell'arco alpino ma alcuni sono anche localizzati sugli Appennini piemontesi. I 50 invasi considerati nel seguito sono ripartiti nelle varie province come segue: 4 nell'alessandrino, 4 nel biellese, 10 nella provincia di Cuneo, 14 in quella di Torino, 2 in quella di Vercelli e 16 nel Verbano-Cusio-Ossola.



Figura 2: posizione delle 56 dighe considerate nel cap. 3 (Piemonte e Valle d'Aosta).

Per quanto riguarda la tipologia costruttiva, la maggiormente presente è la diga a gravità ordinaria, ma vi sono anche dighe ad arco semplice e ad arco-gravità nonché alcuni esempi di dighe in materiale sciolto e a gravità alleggerita.

Gli invasi piemontesi sottendono bacini con superfici che spaziano da circa 1km^2 a circa 700km^2 ; i più estesi sono quello di Gorge di Susa (697km^2) e Roccasparvera (591km^2). I più piccoli sono Rossana, Chabrière, Lomellina, Busin Inferiore e Alpe Larecchio compresi tra 1 e 3km^2 . Le altezze degli sbarramenti variano tra i 16.5 m della diga di San Damiano Macra fino ai 120 m della diga di Chiotas. Tra le più alte dighe piemontesi ci sono le dighe della Piastra, di Pian Telessio e di Campliccioli. Anche i volumi di invaso sono molto variabili: gli invasi con capacità più ridotte sono Chabrière, Fedio e Melezet mentre i più ragguardevoli sono Sabbione, Ceresole Reale Maggiore e Chiotas.

La valle con maggior numero di sbarramenti è la Val d'Ossola, valle alpina in provincia di Verbania, al confine con la Svizzera. Questi serbatoi, localizzati sugli affluenti di alta quota del fiume Toce, hanno una capacità complessiva di invaso di oltre 150 milioni di m^3 . Lo sbarramento più importante della Val d'Ossola è quello del Sabbione, primo per volume d'acqua in Piemonte.

Altri serbatoi artificiali piemontesi di notevole rilevanza, realizzati a scopo idroelettrico, ricadono all'interno la valle dell'Orco, che raccoglie i deflussi del versante meridionale del massiccio del Gran Paradiso e ospita 6 invasi (Agnel, Serrù, Ceresole Reale, Pian Telessio, Valsoera e Lago Eugio) che fanno parte del più grande complesso idroelettrico piemontese. Tra questi serbatoi, Ceresole Reale (34Mm^3) è stato realizzato mediante la costruzione di due sbarramenti rispettivamente alti 48 m e 17 m. Per scopo principalmente irriguo sono invece stati realizzati gli invasi del biellese. Nella provincia di Cuneo gli sbarramenti più importanti si trovano nel bacino idrografico del torrente Gesso. In particolare nel comu-

ne di Entracque si trova il complesso idroelettrico di cui fanno parte gli invasi di Chiotas (30 Mm³) e Piastra, con un dislivello di 1000 m e impianto di ripompaggio che durante la notte riporta a Chiotas parte dell'acqua del lago della Piastra.



Figura 3: da sinistra il Lago Agnel (2.300 m s.l.m.) e il Lago Serrù (2.275 m s.l.m.) nel comune di Ceresole Reale, in valle Orco (immagine di CourthoudPH tratta dal sito www.italiainfoto.com).

La Valle d'Aosta, regione interamente montuosa, presenta un'unica grande vallata, di origine glaciale solcata dalla Dora Baltea. Nella valle principale confluiscono, sia in sinistra che in destra orografica, numerose valli laterali in cui scorrono i vari affluenti della Dora lungo i quali sono presenti numerosi bacini idrici artificiali principalmente a servizio di centrali idroelettriche che ogni anno producono circa 3000 GWh, dei quali meno di un terzo è sufficiente a soddisfare il fabbisogno energetico della regione. La Valle d'Aosta dispone di 5 serbatoi artificiali che consentono una gestione annuale dell'energia prodotta dagli impianti sottostanti e di una serie di invasi minori con i quali si sopperisce ai picchi di domanda nelle fasce orarie di maggior consumo.

La quasi totalità dei serbatoi artificiali presenti si trova a quote elevate, occupa depressioni naturali, prende origine da laghi glaciali già esistenti e sbarrando corsi d'acqua di modesta entità che, a valle del serbatoio, ricevono comunque immissioni che mantengono sostanzialmente intatto l'equilibrio degli ecosistemi.

I primi serbatoi artificiali sorti nella regione risalgono al 1919 e sono quello di Gabiet, che si trova sopra Gressoney La Trinitè e quello di Guillemore nella valle del Lys, che sottende il bacino più vasto tra quelli valdostani (239 km²).

In Valpelline si trova la diga di Place Moulin, lo sbarramento, situato sul torrente Buthier, è al primo posto in tutto l'arco alpino per capacità di invaso: il suo volume risulta pari a 105,48 milioni di m³ (non sono da meno né l'altezza della diga, 143.5 m né l'estensione del lago). In Val d'Ayas, invece, si trova l'invaso di Brusson che sottende un bacino con superficie pari a 145 km². È stato realizzato nello stesso periodo delle due dighe che formano l'invaso di Cignana nella valle del torrente Marmore. Quest'ultimo invaso alimenta un gruppo della centrale di Maen. Le due dighe risalgono al 1925-1928, entrambe sono a gravità ordinaria, la principale in calcestruzzo ed in muratura a secco la secondaria. Il serbatoio primario ha un volume di invaso di circa 16 Mm³ e un'altezza di 55.5 m.

Infine nel comune di Valtournenche sono presenti la diga di Lago Goillet (realizzata sfruttando la piccola ferrovia, ad oggi dismessa, che da sopra Perreres

arrivava al lago situato sopra Breuil-Cervinia) e quella di Perreres, con volumi di invaso rispettivamente di 11.19 e 0.07 Mm³.



Figura 4: lago e dighe di Cignana (immagine tratta dal sito www.cvaspa.it)

1.4 Obiettivi delle analisi relative alle aree a valle di grandi dighe

Nei primi paragrafi di questo capitolo si è posto l'accento sulla normativa inerente le dighe e, in particolare, sulle direttive e le leggi volte a tutelare i territori a valle. Fra tutte, la direttiva P.C.M. 27 febbraio 2004, demanda alle regioni il compito di individuare “*quegli invasi che potrebbero essere effettivamente utili alla laminazione delle piene e quindi ad una riduzione del rischio idraulico a valle degli invasi stessi. (...) Per tali invasi le Regioni, con il concorso tecnico dei Centri Funzionali decentrati, dell'Autorità di bacino e del Registro italiano dighe [oggi Direzione Dighe del M.I.T.], d'intesa con i gestori, sotto il coordinamento del Dipartimento della protezione civile, predisporranno ed adotteranno un piano di laminazione preventivo*”. Tali strategie richiedono un'importante base di conoscenza tecnico-scientifica, la cui definizione è uno degli obiettivi di questo lavoro.

Per quel che riguarda l'interazione degli invasi con i fenomeni di piena naturali, riveste un ruolo fondamentale la stima dei volumi degli idrogrammi di piena di progetto. In funzione di questi volumi si può definire l'efficacia di laminazione delle grandi dighe. Un approccio possibile in tal senso è la realizzazione di simulazioni tipo Montecarlo che prevedono la generazione di un elevato numero di idrogrammi di progetto, la risoluzione di equazioni di continuità sulla geometria dell'opera considerata e la scelta dell'idrogramma più gravoso (a parità di portata di picco) come idrogramma di progetto. Per la definizione dell'idrogramma si possono utilizzare metodi afflussi-deflussi, modelli idrologici integrati (e.g. Sordo-Ward et al., 2013) o forme schematiche definite attraverso una serie di parametri (e.g. Brunner et al., 2017). In quest'ultimo caso soprattutto, si ricorre spesso a modelli bivariati di tipo copula per la generazione di coppie portata di picco-volume (e.g. De Michele et al., 2005). A valle dell'utilizzo di questi metodi su diversi bacini si ricercano comportamenti comuni e indici per legare i risultati ottenuti a grandezze rappresentative.

In questa tesi si è scelto di utilizzare un approccio induttivo piuttosto che deduttivo. Partendo dal legame portate - volumi - durate espresso dalla curva di riduzione dei colmi di piena (si veda il capitolo 2), si ricercano i legami tra i parametri di tale curva e le caratteristiche idro-geo-morfologiche del bacino. L'intento è quello di rappresentare in modo semplice le dinamiche alla base del legame tra portata e volume, mantenendo un rapporto quanto più diretto possibile con i dati raccolti (serie storiche di portate e caratteristiche dei bacini idrografici). L'obiettivo finale è quello di realizzare un modello di regionalizzazione dei volumi di piena da utilizzare in siti non strumentati, usando caratteristiche idrologiche e fisiche analoghe a quelle dei bacini del database iniziale.

Legato al volume di piena e ai piani di laminazione in presenza di invasi, alla luce della normativa vigente, sorge spontaneo l'interrogativo su quali dighe valga

la pena di investire risorse per la realizzazione di un piano di laminazione attiva, prevedendo cioè manovre sugli scarichi secondo un preciso protocollo e solo in previsione di un evento di una fissata entità svincolandosi dalla prescrizione del mantenimento di un livello di invaso inferiore alla quota di massima regolazione per determinati periodi dell'anno. A questo proposito, sulle orme degli indici semi-empirici SFA e FARL validi per laminazione naturale (senza manovre sugli scarichi e considerando l'arrivo dell'onda di piena con livello d'invaso alla quota di massima regolazione), si ricerca un metodo di classificazione preventiva delle dighe sulla base delle loro potenzialità di laminazione in un'ottica di gestione attiva degli scarichi. Il valore aggiunto di questo tipo di gestione volta allo svasso preventivo è legato al fatto che, se correttamente progettata, essa produce una diminuzione del rischio nei territori a valle e sull'opera stessa senza penalizzare il gestore. Nel cap. 3 si propongono dei diagrammi diagnostici ottenuti a partire dall'equazione di continuità ipotizzando semplici regole di scarico e considerando la reale curva di invaso.

La prima normativa inerente ai piani di laminazione risale, come noto al 2004, un approccio come quello qui trattato non è però da ritenersi ormai superato. Per quanto riguarda il bacino del Po, per esempio, l'ultimo documento in proposito è datato aprile 2015 e si tratta della relazione finale "Attività del Tavolo Tecnico per l'individuazione degli invasi utili alla laminazione delle piene al fine della definizione dei piani di laminazione". Tale tavolo tecnico era stato istituito, in parallelo con analoghe attività presso le singole regioni, al fine di coordinare le attività conoscitive necessarie a valutare gli effetti della gestione dei volumi accumulati negli invasi regolati dalle dighe, sulla formazione e propagazione delle onde di piena nei tratti di valle ed eventualmente sul Po.

La citata relazione riassume i principali risultati ottenuti e si pone come base di successivi approfondimenti. Tra i sotto progetti ivi descritti vi sono la raccolta di documenti e la predisposizione di piani per la gestione inerenti i grandi laghi: Maggiore, di Varese, di Como, d'Iseo, d'Idro e di Garda. Vengono inoltre raccolti i risultati delle ricognizioni regionali inerenti alle grandi dighe per le quali fossero già in atto o comunque già previste funzioni di laminazione (almeno a scala locale). Le dighe individuate furono: per la Lombardia la diga Olona, la traversa Lago Pusiano, la traversa Lago d'Idro (in collaborazione con la Provincia Autonoma di Trento); per la Provincia Autonoma di Trento le dighe Ponte Pià e Malga Boazzo; per l'Emilia Romagna la diga Mignano, le traverse delle casse di espansione di Parma, Panaro, Crostolo e Rubiera ed infine, per il Piemonte, la diga Ingagna (De-liberazione della Giunta Regionale del Piemonte 6 ottobre 2014, n. 37-403).

Ad oggi, relativamente alla sola Regione Piemonte, la situazione è rimasta immutata dal punto di vista dei piani di laminazione approvati anche se una classificazione degli invasi, inerente alla sola laminazione naturale, è stata emanata con la Deliberazione della Giunta Regionale 27 aprile 2018, n. 22-6795. Nella stessa

delibera è anche stato fatto un tentativo di classificazione basata sulla valutazione incrociata tra indice di laminazione naturale e indice di vulnerabilità (definito come numero totale di elementi poligonali, lineari e puntuali con rischio R4 intercettati nei 20 km di alveo a valle dello sbarramento in riferimento alle mappe della pericolosità e del rischio contenute nel Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni del distretto idrografico Padano, approvato con D.P.C.M. 27 ottobre 2016). In questa classifica, che comprende 67 invasi, la diga di Ingagna si trova in 15° posizione.

1.5 Obiettivi delle analisi relative alle aree a valle di piccole dighe

Altri aspetti legati alla presenza degli invasi artificiali sul territorio sono i rischi, seppur remoti, di malfunzionamento degli organi di scarico e di collasso totale o parziale dello sbarramento. Per limitare le conseguenze e gli impatti, potenzialmente devastanti sia per l'estensione delle aree coinvolte che per l'intensità dell'onda, è necessario conoscere quali possano essere le aree potenzialmente interessate nonché le loro destinazioni d'uso ecc. Fin dagli anni '90, vige l'obbligo di produrre per ogni diga opportuni studi volti a definire le suddette perimetrazioni. Dal 2014 (direttiva P.C.M. 8 luglio 2014) tali scenari sono parte integrante del PED (piano di emergenza della diga) redatto dalle regioni in qualità di Autorità di protezione civile. Oltre alle grandi dighe, sono inclusi, come si è detto, anche gli invasi minori. Gli impatti e i danni sul territorio riconducibili ad anomalie di piccoli invasi non sono chiaramente paragonabili a quanto appena discusso, tuttavia, l'elevata numerosità e la diffusione capillare anche a quote più basse e nei pressi di centri abitati e aziende agricole, aumenta notevolmente il fattore di rischio. D'altra parte le risorse necessarie, sia economiche che in termini di ore/uomo, alla valutazione approfondita di ogni singolo caso non sono ad oggi disponibili e comunque non condurrebbero a risposte esaustive in breve tempo. Per indirizzare gli sforzi verso i casi potenzialmente più pericolosi in modo da prendere le opportune misure tempestivamente, si vuole proporre una metodologia speditiva di valutazione delle aree potenzialmente allagabili a seguito di collasso (dam-break). A questo proposito è in atto da alcuni anni una collaborazione tra Piemonte, Valle d'Aosta e le regioni francesi confinanti (che coinvolge anche diversi centri di ricerca ed università) nell'ambito di 2 progetti finanziati dai fondi europei Alcotra (progetto RISBA e progetto RESBA) finalizzata alla riduzione del rischio mediante lo sviluppo di nuove tecniche innovative di monitoraggio e mappatura. Nei capitoli 5 e 6 si approfondisce per via sperimentale e numerica lo studio dell'effetto dell'orografia e dell'uso del suolo sulla propagazione dell'onda dovuta al dam-break. Gli aspetti fondamentali, come si vedrà nel capitolo 4, sono: la valutazione dell'intensità dell'evento (in termini di velocità e altezza d'acqua) e

l'estensione dell'area allagata. Relativamente a quest'ultimo aspetto, durante il periodo di dottorato, sono state studiate (sia con metodi numerici che con modelli fisici appositamente progettati e realizzati) le aree potenzialmente interessate dal collasso di piccoli invasi collinari e di versante caratterizzati dall'assenza di un emissario nonché dalla presenza di coltivazioni arbustive e arboree nelle aree immediatamente a valle delle stesse. Questi fattori impattano fortemente sia sulla velocità e sulla profondità del flusso che sull'estensione e sulla posizione della zona allagabile che tipicamente non si sviluppa unicamente nella direzione di massima pendenza ma ha anche una componente di diffusione in direzione trasversale che non può essere trascurata anche in un'ottica di mappatura speditiva applicabile ad un elevato numero di invasi.

Ai sensi della L.R.06.10.2003, n. 25. e del conseguente D.P.G.R. 09.11.2004 n. 12/R, in Piemonte, il progetto di un nuovo invaso deve contenere all'interno della relazione tecnica, uno studio delle aree, abitazioni e infrastrutture presenti a valle e interessabili in caso di collasso delle opere di ritenuta. In particolare, ai sensi regolamento regionale del 09/11/2004 n°12/R, è necessario il calcolo dell'area interessata per una distanza dall'invaso valutata in funzione del volume invasato e una successiva valutazione del rischio basato sul grado e il tipo di antropizzazione presente nell'area perimetrata. Non vengono però imposti metodi per la perimetrazione delle aree in oggetto. Nell'ambito di una tesi di Laurea Magistrale (Costa, 2014) è stato eseguito un controllo a campione dei metodi utilizzati per la perimetrazione delle aree inondabili dei piccoli invasi all'epoca in esercizio in Piemonte ed è emersa una elevata eterogeneità nonché la presenza di metodi che talvolta male si adattano alle condizioni di assenza di emissario prevedendo sempre la definizione di una sezione fluviale. Si citano ad esempio l'utilizzo del software Hec-Ras a partire da formule empiriche per la definizione della portata di picco o con modelli di apertura di una breccia, o il metodo della Regione Lombardia ai sensi della L.R del 23/03/1998 n° 8 che prevede una serie di tabelle per l'individuazione della sezione bagnata e conseguentemente la stima dei tiranti in funzione della reale geometria dell'alveo. Nell'ambito del progetto Risba (rischio degli sbarramenti artificiali) una nuova metodologia è stata proposta (cap. 5) per queste tipologie di invasi. In questa tesi si approfondisce questa tematica con modelli fisici per poter giungere ad un aumento della robustezza del metodo e per tenere conto degli effetti legati alla presenza di coltivazioni con elementi ad alto fusto che, come si vedrà, hanno un impatto non trascurabile sugli effetti di onde di questa entità. Capitolo 4

Il principio di funzionamento

Premessa

L'idea alla base del presente WP è quella di sviluppare una metodologia di stima della pericolosità per dighe di competenza Regionale. La metodologia deve essere semplice, robusta, ricorsiva. Deve essere compatibile con procedure di ispezione periodica dei tecnici. La procedura proposta si basa sull'ispezione allo sbarramento, sulla rilevazione e valutazione delle anomalie e sull'assegnazione del livello di pericolosità dell'invaso.

Ciò viene fatto attraverso l'uso di alberi di evento appositamente costruiti e calibrati mediante l'analisi dei database mondiali sugli incidenti. Nelle seguenti figure si mostrano i possibili alberi di evento, partendo da una classica rappresentazione, fino ad uno di quelli costruiti per il presente lavoro.

Fault Tree Analysis With Symbols

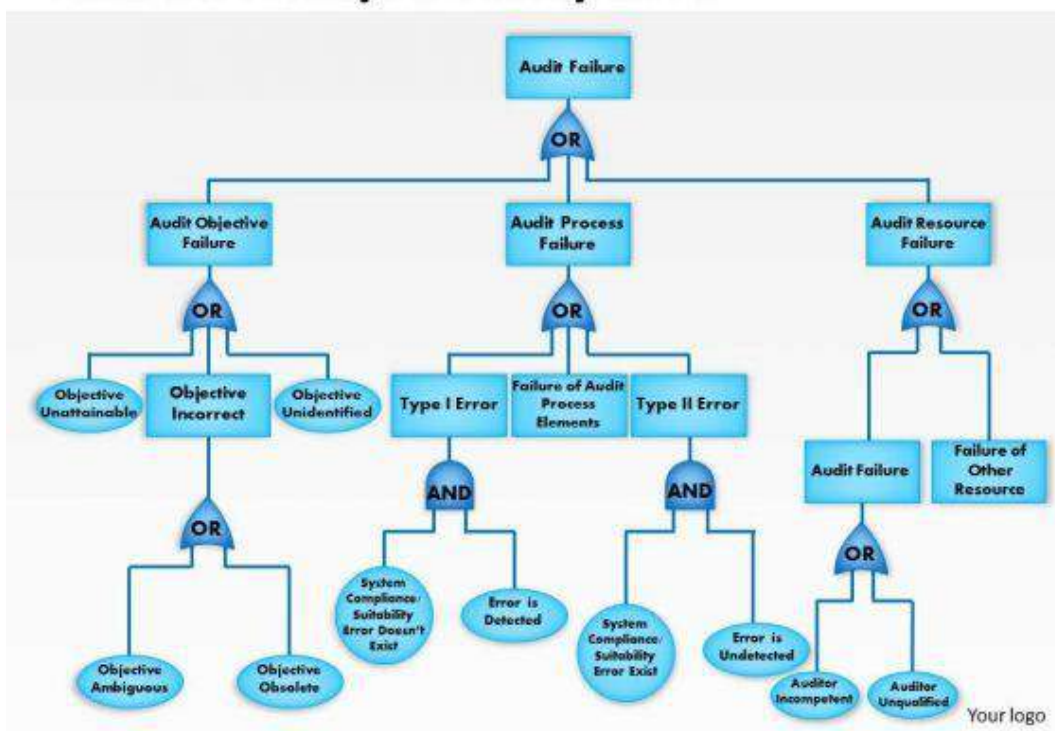


Figura 5: Un classico albero d'evento

L'interfaccia del software e le anomalie utilizzabili

Nel presente capitolo si presentano le principali anomalie che possono affliggere una diga in terra e che verranno utilizzate per la stima del grado di pericolosità dello sbarramento. La pagina principale è composta di una serie di tabelle suddivise per elementi che compongono lo sbarramento quali:

1. ELEMENTI STRUTTURALI
 - a. CORONAMENTO
 - b. PARAMENTO DI VALLE
 - c. PARAMENTO DI MONTE
 - d. PERMEABILITÀ DEL CORPO DIGA
 - e. FONDAZIONI

2. INVASO
 - a. INTERSEZIONE RETICOLO NATURALE
 - i. INTERSEZIONE RETICOLO NATURALE
 - ii. TIPOLOGIA DELL'OPERA DI DERIVAZIONE
 - iii. DISPOSITIVI IN INGRESSO
 - iv. MISURA PORTATE IN INGRESSO
 - b. LIVELLO
 - i. SERIE STORICA LIVELLI
 - ii. STAGIONALITÀ LIVELLI
 - iii. REGIME CONTROLLATO
 - iv. STORIA DEL RIEMPIMENTO DEL SERBATOIO
 - v. VIGILANZA
 - vi. MISURA DEL LIVELLO
 - c. TRASPORTO SOLIDO
 - i. TRASPORTO SOLIDO
 - ii. MATERIALE GALLEGGIANTE
 - iii. PULIZIA
 - iv. INTERRIMENTO ATTUALE
 - d. VERSANTI
 - i. MOVIMENTI FRANOSI
 - ii. POSSIBILE CADUTA MASSI
 - e. LAMINAZIONE
 - i. CAPACITÀ DI LAMINAZIONE
 - ii. VOLUME DI LAMINAZIONE

3. PROGETTAZIONE

- i. CORPO DIGA
 - ii. FONDAZIONI
 - iii. SISTEMI DI DRENAGGIO
 - iv. OPERE ACCESSORIE
 - v. VERIFICHE STATICHE
 - vi. VERIFICHE IDROLOGICHE E IDRAULICHE
 - vii. INTERVENTI SULL'OPERA
 - viii. COLLAUDO
 - ix. ETA'
4. FATTORI ESTERNI (EVENTI ESTREMI)
- a. IDROLOGIA
 - i. ESTENSIONE DEL BACINO IDROGRAFICO
 - ii. SCIOGLIMENTO DEL MANTO NEVOSO
 - iii. TEMPERATURA
 - iv. VENTO
 - v. PRECIPITAZIONI
 - b. SISMA
 - i. INTENSITA' SISMICA
 - ii. SICUREZZA COMPLESSIVA DEL CORPO DIGA
5. OPERE ACCESSORIE
- a. SCARICHI DI SUPERFICIE - DESCRIZIONE
 - i. PRESENZA
 - ii. POSIZIONE
 - iii. TIPOLOGIA COSTRUTTIVA
 - iv. CAPACITÀ DELLO SFIORATORE
 - b. SCARICHI DI SUPERFICIE – FUNZIONALITA'
 - i. OSTRUZIONE
 - ii. FESSURAZIONI
 - iii. DEGRADO SUPERFICI ESPOSTE
 - iv. CEDIMENTI
 - v. FILTRAZIONE/SIFONAMENTO DELLE FONDAZIONI
 - c. SCARICHI DI SUPERFICIE - CONDOTTO EVACUATORE
 - i. FILTRAZIONI NEL CONDOTTO
 - ii. INTASAMENTO
 - iii. DEGRADO SUPERFICI ESPOSTE
 - iv. CORROSIONE SUPERFICI IN METALLO
 - v. CEDIMENTI
 - vi. GEOMETRIA
 - vii. FONDAZIONI
 - viii. CAPACITÀ IDRAULICA
 - ix. PUNTO DI RESTITUZIONE
 - d. SCARICHI DI SUPERFICIE - ESERCIZIO E MANUTENZIONE
 - i. ESERCIZIO
 - ii. MANUTENZIONE

- e. SCARICHI PROFONDI - DESCRIZIONE
 - i. PRESENZA
 - ii. POSIZIONE
 - iii. CAPACITÀ DEGLI SCARICHI PROFONDI
- f. SCARICHI PROFONDI – FUNZIONALITA’
 - i. OSTRUZIONE
 - ii. FESSURAZIONI
 - iii. DEGRADO SUPERFICI ESPOSTE
- g. SCARICHI PROFONDI - CONDOTTO EVACUATORE
 - i. FILTRAZIONI NEL CONDOTTO
 - ii. INTASAMENTO
 - iii. DEGRADO SUPERFICI ESPOSTE
 - iv. CORROSIONE SUPERFICI IN METALLO
 - v. CEDIMENTI
 - vi. GEOMETRIA
 - vii. CAPACITÀ IDRAULICA
 - viii. PUNTO DI RESTITUZIONE

Per ognuno degli elementi riportati qui sopra è possibile associare un’anomalia descritta in 5 classi da A a D (vedi tabella sottostante). L’operatore, sulla base del manuale fornito, può scegliere quale classe è la più opportuna per l’elemento che sta valutando in fase di ispezione. Per chiarezza di esposizione le classi sono qui di seguito riportate.

ELEMENTI STRUTTURALI		C
CORONAMENTO		C
4	D LARGHEZZA	0.9
3	C FRANCO	0.5
4	D PROTEZIONE LATO MONTE	0.9
5	E PROTEZIONE LATO VALLE	0.99
3	C PROTEZIONE PARTE SOMMITALE	0.5
3	C CEDIMENTI VERTICALI	0.5
2	B ALLINEAMENTO ORIZZONTALE	0.1
2	B FESSURAZIONI	0.1
3	C EROSIONI	0.5
PARAMENTO DI VALLE		C
1	A PROGETTAZIONE	0.01
5	E VEGETAZIONE	0.99
5	E ALBERI ed ARBUSTI	0.99
2	B FESSURAZIONI	0.1
4	D EROSIONI	0.9
4	D FILTRAZIONE/SIFONAMENTO	0.9
3	C ELEMENTI DI PROTEZIONE	0.5
5	E MOVIMENTI GLOBALI DEL RILEVATO	0.99
1	A MOVIMENTI ALLA BASE DEL RILEVATO	0.01
PARAMENTO DI MONTE		C
5	E PROGETTAZIONE	0.99
1	A VEGETAZIONE	0.01
2	B ELEMENTI DI PROTEZIONE	0.1
3	C MOVIMENTI GLOBALI DEL RILEVATO	0.5
5	E MOVIMENTI ALLA BASE DEL RILEVATO	0.99
PERMEABILITA' DEL CORPO DIGA		C
3	C SISTEMI DI DRENAGGIO VERTICALI	0.5
3	C SISTEMI DI DRENAGGIO AL PIEDE DEL PARAMENTO DI VALLE	0.5
5	E NUCLEO DI TENUTA IMPERMEABILE	0.99
4	D ALTRI ELEMENTI DI TENUTA IMPERMEABILE	0.9
4	D LINEA DI SATURAZIONE INTERNA	0.9
5	E FILTRAZIONE	0.99
3	C SIFONAMENTO	0.5
FONDAZIONI		D
4	D PROGETTAZIONE	0.9
5	E DEFORMAZIONI E SUBSIDENZA DEL SUOLO	0.99

INVASO	C
---------------	----------

INTERSEZIONE RETICOLO NATURALE		E	
5	E	INTERSEZIONE RETICOLO NATURALE	0.99
4	D	TIPOLOGIA DELL'OPERA DI DERIVAZIONE	0.9
4	D	DISPOSITIVI IN INGRESSO (I)	0.9
1	A	MISURA PORTATE IN INGRESSO	0.01
LIVELLO		C	
2	B	SERIE STORICA LIVELLI	0.1
3	C	STAGIONALITÀ LIVELLI	0.5
2	B	REGIME CONTROLLATO	0.1
1	A	STORIA DEL RIEMPIMENTO DEL SERBATOIO	0.01
2	B	VIGILANZA	0.1
1	A	MISURA DEL LIVELLO	0.01
TRASPORTO SOLIDO		D	
5	E	TRASPORTO SOLIDO	0.99
2	B	MATERIALE GALLEGGIANTE	0.1
3	C	PULIZIA	0.5
5	E	INTERRIMENTO ATTUALE	0.99
VERSANTI		C	
1	A	MOVIMENTI FRANOSI	0.01
3	C	POSSIBILE CADUTA MASSI	0.5
LAMINAZIONE		C	
3	C	CAPACITÀ DI LAMINAZIONE	0.5
1	A	VOLUME DI LAMINAZIONE	0.01

PROGETTAZIONE			D
5	E	CORPO DIGA	0.99
5	E	FONDAZIONI	0.99
2	B	SISTEMI DI DRENAGGIO	0.1
1	A	OPERE ACCESSORIE	0.01
4	D	VERIFICHE STATICHE	0.9
4	D	VERIFICHE IDROLOGICHE E IDRAULICHE	0.9
5	E	INTERVENTI SULL'OPERA	0.99
4	D	COLLAUDO	0.9
5	E	Età	0.99
FATTORI ESTERNI (EVENTI ESTREMI)			C
IDROLOGIA			C
2	B	ESTENSIONE DEL BACINO IDROGRAFICO	0.1
4	D	SCIOGLIMENTO DEL MANTO NEVOSO	0.9
5	E	TEMPERATURA	0.99
5	E	VENTO	0.99
3	C	PRECIPITAZIONI	0.5
SISMA			C
2	B	INTENSITA' SISMICA	0.1
3	C	SICUREZZA COMPLESSIVA DEL CORPO DIGA	0.5
OPERE ACCESSORIE			C
SCARICHI DI SUPERFICIE - DESCRIZIONE			C
1	A	PRESENZA	0.01
5	E	POSIZIONE	0.99
1	A	TIPOLOGIA COSTRUTTIVA	0.01
1	A	CAPACITÀ DELLO SFIORATORE	0.01
SCARICHI DI SUPERFICIE - FUNZIONALITÀ			C
1	A	OSTRUZIONE	0.01
4	D	FESSURAZIONI	0.9
5	E	DEGRADO SUPERFICI ESPOSTE	0.99
4	D	CEDIMENTI	0.9
3	C	FILTRAZIONE/SIFONAMENTO DELLE FONDAZIONI	0.5
SCARICHI DI SUPERFICIE - CONDOTTO EVACUATORE			C
3	C	FILTRAZIONI NEL CONDOTTO	0.5
4	D	INTASAMENTO	0.9
5	E	DEGRADO SUPERFICI ESPOSTE	0.99
2	B	CORROSIONE SUPERFICI IN METALLO	0.1
1	A	CEDIMENTI	0.01
5	E	GEOMETRIA	0.99
1	A	FONDAZIONI	0.01
4	D	PUNTO DI RESTITUZIONE	0.9
SCARICHI DI SUPERFICIE - ESERCIZIO E MANUTENZIONE			C

1	A	ESERCIZIO	0.01
4	D	MANUTENZIONE	0.9
SCARICHI PROFONDI - DESCRIZIONE			D
5	E	PRESENZA	0.99
2	B	POSIZIONE	0.1
5	E	CAPACITÀ DEGLI SCARICHI PROFONDI (I)	0.99
5	E	CAPACITÀ DEGLI SCARICHI PROFONDI (II)	0.99
SCARICHI PROFONDI - FUNZIONALITÀ			C
3	C	OSTRUZIONE	0.5
2	B	FESSURAZIONI	0.1
1	A	DEGRADO SUPERFICI ESPOSTE	0.01
SCARICHI PROFONDI - CONDOTTO EVACUATORE			C
3	C	FILTRAZIONI NEL CONDOTTO	0.5
5	E	INTASAMENTO	0.99
3	C	DEGRADO SUPERFICI ESPOSTE	0.5
4	D	CORROSIONE SUPERFICI IN METALLO	0.9
3	C	CEDIMENTI	0.5
3	C	GEOMETRIA	0.5
1	A	CAPACITÀ IDRAULICA	0.01
5	E	PUNTO DI RESTITUZIONE	0.99

ELEMENTI STRUTTURALI

CORONAMENTO

LARGHEZZA:

- A-Larghezza superiore a 4 metri.
- B-Larghezza superiore a 3.5 metri.
- C-Larghezza superiore a 3 metri.
- D-Larghezza superiore a 2.5 metri.
- E-Larghezza inferiore a 2.5 metri.

FRANCO

- A-Franco >1.5 m
- B-Franco <1.5 m ma in accordo con la normativa
- C-Franco tra 0.50 m e 1.5 m, in accordo con la normativa e il manuale
- D-Franco <0.50 m, in accordo con la normativa e il manuale tecnico
- E-Franco<0.30 m. Non rispetta la normativa.

PROTEZIONE LATO MONTE

- A-Il coronamento presenta sul paramento di monte delle adeguate protezioni in buono stato di conservazione e manutenzione.

B-Il coronamento presenta sul paramento di monte delle adeguate protezioni. E' evidente uno stato di usura dovuto all'età che non ha comportato comunque dei danneggiamenti o perdita della sua funzionalità.

C-Le protezioni sul paramento di monte risultano in parte danneggiate con fessurazioni di ridotta dimensione, ma senza distacco di materiale o perdita di continuità dell'elemento. La protezione è ancora in grado di svolgere la sua funzione.

D-Il manto di protezione, pur senza perdere le sue caratteristiche di continuità, presenta numerose fessure, avvallamenti e segni di degrado.

E-Sul paramento di monte del coronamento non è presente nessun sistema di protezione o questo è fortemente compromesso (fessurazioni rilevanti, distacco di materiale, buche).

PROTEZIONE PARTE SOMMITALE

A-La parte sommitale del coronamento è rivestita e protetta con il rivestimento in ottimo stato di conservazione. Il passaggio di acqua al di sopra del coronamento non comporta l'asportazione del rivestimento.

B-La parte sommitale del coronamento è rivestita e protetta. Il rivestimento risulta però in parte ammalorato, con segni di cedimenti, fessurazioni e degrado. Il passaggio di acqua al di sopra del coronamento non comporta l'asportazione del rivestimento.

C-La parte sommitale del coronamento non presenta un rivestimento. La superficie esterna in terra risulta comunque ben costipata, senza segni di erosione, fessurazione o avvallamenti.

D-La parte sommitale del coronamento non presenta un rivestimento. La superficie esterna in terra, pur risultando ben costipata, presenta in alcune aree alcuni segni di erosione, fessurazione o avvallamenti.

E-La parte sommitale del coronamento non ha uno strato protettivo di rivestimento, si presenta in terra con basso livello di compattazione.

CEDIMENTI VERTICALI

A-Il coronamento risulta orizzontale in tutto il suo sviluppo. I cedimenti rilevati corrispondono ai dati previsti nei progetti dello sbarramento.

B-Non è possibile conoscere il valore dei cedimenti previsti nei progetti. Il coronamento risulta comunque rettilineo, senza cedimenti differenziali o globali (pendenza ed inclinazione assenti).

C-Si notano alcune aree di ridotta estensione (minore della larghezza del coronamento) soggette a piccoli cedimenti.

D-L'andamento del coronamento non è più orizzontale, ma senza segni di cedimenti differenziali o avvallamenti consistenti.

E-Il coronamento presenta segni di cedimento differenziali e/o globali.

ALLINEAMENTO ORIZZONTALE

A-Il coronamento segue la linea planimetrica di progetto

B-Il coronamento non segue la linea planimetrica di progetto, ma mantiene comunque un andamento regolare.

C-Il coronamento ha un andamento irregolare, segno di movimenti differenziali del corpo diga.

FESSURAZIONI

A-Nessuna fessura segnalata

B-Sono presenti fessure longitudinali di larghezza minore di 10 mm e profondità di pochi centimetri, limitate a singole aree.

C-Sono presenti fessure trasversali di apertura minore di 10 mm, profonde pochi centimetri, di lunghezza ridotta che non si estendono attraverso tutto il coronamento

D-Le fessure trasversali, di larghezza minore di 10 mm e quelle longitudinali, di larghezza compresa tra 10 e 20 mm, interessano ampie zone del corpo.

E-Sono presenti fessure longitudinali di larghezza maggiore di 20 mm e trasversali maggiori di 10 mm, con queste ultime attraversanti il corpo diga, di profondità superiore a 40 cm circa.

EROSIONI

A-Non sono presenti solchi, avvallamenti od altri segni di erosione.

B-Si possono individuare alcuni solchi, di larghezza e profondità ridotta, dovuti dall'erosione superficiale e/o aree depresse che possono costituire un impluvio naturale.

C-Si notano segni più marcati dovuti al passaggio di acqua, erosioni superficiali e aree che possono costituire un impluvio naturale.

D-E' evidente una moderata attività di erosione che ha portato allo svilupparsi di solchi o all'asportazione dello strato superficiale di terreno.

E-Sono presenti solchi dovuti ad erosione da scorrimento superficiale, molto marcati, interessanti il coronamento per tutta la sua lunghezza.

PARAMENTO DI VALLE

PROGETTAZIONE

A-Lo stato attuale dell'opera corrisponde a quanto indicato nei progetti originali a disposizione.

B-Non sono disponibili i progetti originali. Il paramento di valle presenta comunque una pendenza inferiore a 1:3.

C-Non sono disponibili i progetti originali. Il paramento di valle presenta una pendenza superiore a 1:3.

D-Non sono disponibili i progetti originali. Il paramento di valle presenta una pendenza superiore a 1:2.

E-Il paramento di valle risulta troppo inclinato, con possibile innesco di fenomeni di scivolamento.

VEGETAZIONE

A-Inerbimento superficiale continuo, con copertura prossima al 100% dell'area, di caratteristiche uniformi, assenza di alta vegetazione.

B-Inerbimento superficiale buono, con copertura tra l'80% ed il 100% dell'area, di caratteristiche quasi uniformi, assenza di alta vegetazione.

C-Inerbimento superficiale discreto, con copertura tra l'40% ed il 100% dell'area. Sono visibili aree estese con vegetazione con caratteristiche diverse e/o di altezza diversa.

D-Inerbimento superficiale scarso, con copertura tra il 5% ed il 40% dell'area. Sono visibili aree estese con vegetazione con caratteristiche diverse e/o di altezza diversa.

E-Inerbimento superficiale pessimo, con copertura minore del 5% dell'area. Sono visibili aree estese con vegetazione con caratteristiche diverse e di altezza rilevante.

ALBERI ED ARBUSTI

A-Assenza di arbusti di qualsiasi dimensione.

B-Presenza di piccoli arbusti, con tronco di diametro inferiore a 5 cm, distribuiti su un'area di estensione compresa tra il 5% ed il 40% dell'area.

C-Presenza di arbusti e/o alberi con diametro del tronco di circa 5 cm o con un'altezza superiore a 2 metri.

D-Presenza diffusa di arbusti e/o alberi con diametro del tronco compreso tra 5 e 10 cm o con un'altezza superiore a 2 metri.

E-Presenza di alberi con diametro del tronco maggiore di 10cm o con un'altezza superiore a 4 metri.

FESSURAZIONI

A-Nessuna fessura segnalata

B-Sono presenti fessure longitudinali di larghezza minore di 10 mm e profondità di pochi centimetri, limitate a singole aree.

C-Sono presenti fessure trasversali di apertura minore di 10 mm, profonde pochi centimetri, di lunghezza ridotta che non si estendono attraverso tutto il coronamento

D-Le fessure trasversali, di larghezza minore di 10 mm e quelle longitudinali, di larghezza compresa tra 10 e 20 mm, interessano ampie zone del cropo.

E-Sono presenti fessure longitudinali di larghezza maggiore di 20 mm e trasversali maggiori di 10 mm, con queste ultime attraversanti il corpo diga, di profondità superiore a 40 cm circa.

EROSIONI

A-Non sono presenti solchi, avvallamenti od altri segni di erosione.

B-Si possono individuare alcuni solchi, di larghezza e profondità ridotta, dovuti dall'erosione superficiale e/o aree depresse che possono costituire un impluvio naturale.

C-Si notano sul paramento segni più marcati dovuti al passaggio di acqua, erosioni superficiali e aree che possono costituire un impluvio naturale.

D-E' evidente una moderata attività di erosione che ha portato allo svilupparsi di solchi o all'asportazione dello strato superficiale di terreno.

E-Sono presenti solchi dovuti ad erosione da scorrimento superficiale, molto marcati, interessanti il paramento di valle per tutta la sua lunghezza.

FILTRAZIONE/SIFONAMENTO

A-Il paramento di valle risulta pressochè asciutto, caratteristiche uniformi.

B-Si possono individuare zone umide o zone in cui la vegetazione risulta essere più rigogliosa o particolarmente concentrata.C-

D-E' possibile individuare ampie zone costantemente umide.

E-Sul paramento di valle si possono individuare ampie zone con sorgenti sospese o poche zone concentrate in cui le venute di acqua sono cospicue.

ELEMENTI DI PROTEZIONE

A-Sul paramento di valle sono presenti delle adeguate protezioni in buono stato di conservazione e manutenzione.

B-E' assente il sistema di protezione sul paramento di valle, ma la superficie esterna si presenta in un buono stato conservativo, con copertura vegetale corretta, senza segni di fessurazioni, avvallamenti, movimenti.

C-E' assente il sistema di protezione sul paramento di valle. La superficie esterna, in terra senza copertura vegetale, si presenta in un buono stato conservativo, con pochi segni di fessurazioni, avvallamenti, e senza segni di movimento.

D-Sul paramento di valle del coronamento non è presente nessun sistema di protezione. Sono rilevabili alcune fessurazioni, segni di erosione, avvallamenti senza che questi pregiudichino la stabilità del rilevato.

E-Sul paramento di valle non è presente nessun sistema di protezione o questo è fortemente compromesso oppure sono rilevabili fessurazioni rilevanti, distacco di materiale, buche.

MOVIMENTI GLOBALI DEL RILEVATO

A-Nessun movimento è segnalato. Il paramento presenta un andamento regolare in accordo con i progetti iniziali.

B-Il paramento presenta una struttura compatta senza segni evidenti di movimenti. L'andamento presenta delle irregolarità dovute a cedimenti isolati.

C-Il paramento presenta una struttura compatta senza segni evidenti di movimenti. L'andamento presenta delle irregolarità dovute a cedimenti diffusi.

D-Sul paramento sono presenti fessure longitudinali/trasversali di notevole estensione.

E-Si possono individuare chiaramente delle zone che hanno subito spostamenti verso il piede dell'opera o cedimenti consistenti (abbassamento di oltre 50 cm rispetto alle aree circostanti).

MOVIMENTI ALLA BASE DEL RILEVATO

A-Nessun movimento è segnalato

C-Il piede del paramento di valle presenta delle irregolarità, asportazione di materiale, sollevamenti del terreno.

E-Il piede dell'opera è fortemente compromesso, con irregolarità dovute all'asportazione di materiale e cedimenti incipienti della parte restante.

PARAMENTO DI MONTE

PROGETTAZIONE:

A-Lo stato attuale dell'opera corrisponde a quanto indicato nei progetti originali a disposizione.

B-Non sono disponibili i progetti originali. Il paramento di monte presenta comunque una pendenza inferiore a 1:3.

C-Non sono disponibili i progetti originali. Il paramento di monte presenta una pendenza superiore a 1:3.

D-Non sono disponibili i progetti originali. Il paramento di monte presenta una pendenza superiore a 1:2.

E-Il paramento di monte risulta troppo inclinato, con possibile innesco di fenomeni di scivolamento.

VEGETAZIONE

A-Il paramento di monte non è rivestito superficialmente. SI presenta comunque di caratteristiche uniformi, con ridotta copertura vegetale o, se presente, uniformemente distribuita. Non sono presenti alberi o arbusti di qualsiasi dimensione.

C-Il paramento di monte non è rivestito superficialmente. E' presente alta vegetazione o alberi ed arbusti anche se di piccola dimensione.

E-Il paramento di monte non è rivestito superficialmente. E' presente alta vegetazione o alberi ed arbusti di elevata dimensione.

ELEMENTI DI PROTEZIONE

A-Sul paramento di monte sono presenti delle adeguate protezioni in buono stato di conservazione e manutenzione.

B-Sul paramento di monte sono presenti delle adeguate protezioni. Si segnala un leggero degrado delle superfici esterne dovute principalmente a fenomeni di invecchiamento. Il sistema di protezione si presenta continuo e di generale buona qualità in buono stato di conservazione e manutenzione.

C-Sul paramento di monte sono presenti delle adeguate protezioni. Si segnala un diffuso degrado delle superfici esterne, a cui si è dovuto rimediare con interventi localizzati.

D-E' assente il sistema di protezione sul paramento di monte, ma la superficie esterna si presenta in un buono stato conservativo, senza segni di fessurazioni, avvallamenti, movimenti. Oppure il sistema di protezione risulta parzialmente compromesso, con segni di cedimenti, stacchi, fessurazioni.

E-Sul paramento di monte non è presente nessun sistema di protezione o questo è fortemente compromesso oppure sono rilevabili fessurazioni rilevanti, distacco di materiale, avvallamenti.

MOVIMENTI GLOBALI DEL RILEVATO

A-Nessun movimento è segnalato. Il paramento presenta un andamento regolare in accordo con i progetti iniziali.

B-Il paramento presenta una struttura compatta senza segni evidenti di movimenti. L'andamento presenta delle irregolarità dovute a cedimenti isolati.

C-Il paramento presenta una struttura compatta senza segni evidenti di movimenti. L'andamento presenta delle irregolarità dovute a cedimenti diffusi.

D-Sul paramento sono presenti fessure longitudinali/trasversali di notevole estensione.

E-Si possono individuare chiaramente delle zone che hanno subito spostamenti verso il piede dell'opera o cedimenti consistenti (abbassamento di oltre 50 cm rispetto alle aree circostanti).

PERMEABILITA' DEL CORPO DIGA

SISTEMI DI DRENAGGIO VERTICALI

A - I sistemi di drenaggio sono presenti e funzionanti. La portata drenata risulta pressochè costante senza variazioni eccessive che non siano imputabili allo stato di riempimento del serbatoio.

B - I sistemi di drenaggio sono presenti e funzionanti. La portata drenata subisce delle variazioni non correlabili allo stato di riempimento del serbatoio.

C - I sistemi di drenaggio sono parzialmente funzionanti. La portata drenata subisce delle variazioni non correlabili allo stato di riempimento del serbatoio.

D - I sistemi di drenaggio sono parzialmente funzionanti. La portata drenata subisce delle variazioni non correlabili allo stato di riempimento del serbatoio. Oppure, anche se funzionanti, recentemente hanno incrementato la loro portata, senza che sia variato lo stato del serbatoio a monte.

E - Assenti, non funzionanti, non si ha conoscenza della loro presenza o funzionamento. E-Il paramento di monte risulta troppo inclinato, con possibile innesco di fenomeni di scivolamento.

SISTEMI DI DRENAGGIO AL PIEDE DEL PARAMENTO DI VALLE

A - Non previsti in fase di progetto. Se presenti, questi sono funzionanti; le portate drenate non sono soggette a forti variazioni che non siano imputabili allo stato di riempimento del serbatoio.

B - Se presenti, questi sono funzionanti; le portate drenate sono soggette ai variazioni non imputabili allo stato di riempimento del serbatoio. Le portate drenate sono comunque di ridotta entità.

C - Se presenti, questi sono parzialmente funzionanti; le portate drenate sono soggette ai variazioni non imputabili allo stato di riempimento del serbatoio. Le portate drenate sono comunque di ridotta entità.

D - Se presenti, questi sono parzialmente funzionanti; le portate drenate sono soggette ai variazioni non imputabili allo stato di riempimento del serbatoio. Le portate drenate si sono incrementate recentemente.

E - Non funzionanti, non si ha conoscenza del loro funzionamento. Se funzionanti, le portate drenate sono eccessive rispetto allo standard storico rilevato per il serbatoio.

NUCLEO DI TENUTA IMPERMEABILE

A - E' possibile rilevare l'andamento della linea di saturazione interna e questa corrisponde alla linea prevista in fase di progetto.

B - E' possibile rilevare l'andamento della linea di saturazione interna. Questa non ha subito variazioni nel tempo che non siano imputabili al grado di riempimento del serbatoio.

D - E' possibile rilevare l'andamento della linea di saturazione interna. Le sue variazioni nel tempo sono rilevanti e non imputabili al grado di riempimento del serbatoio.

E - Non è possibile rilevare l'andamento della linea di saturazione interna, oppure questa è superiore a quella prevista in fase di progetto.

FILTRAZIONE

A - Il paramento di valle risulta pressochè asciutto, con caratteristiche uniformi.

B - Sul paramento di valle si possono individuare zone umide o zone in cui la vegetazione risulta essere più rigogliosa o particolarmente concentrata.

D - Sul paramento di valle è possibile individuare ampie zone costantemente umide.

E - Sul paramento di valle si possono individuare ampie zone con sorgenti sospese o poche zone concentrate in cui le venute di acqua sono cospicue.

SIFONAMENTO

A - Nessun segnale che indichi sifonamento lungo il paramento ed al piede dell'opera.

B - Lungo il paramento di valle e/o al piede dell'opera si possono notare aree umide e/o paludose, caratterizzate da venute e/o presenza di acqua contenente materiale in sospensione. La presenza di buche o avvallamenti localizzati sul paramento di monte o di valle indicano la possibile formazione di un effetto di sifonamento diretto verso la fondazione e non riscontrabile esternamente alla struttura.

ZONE DI CONTATTO CORPO DIGA - VERSANTI

MOVIMENTI DIFFERENZIALI

A - La struttura ed il corpo diga presentano il profilo originale previsto in fase progettuale.

B - La struttura presenta piccoli cedimenti globali, senza che si possa rilevare il distacco dal corpo diga.

C - La struttura presenta cedimenti differenziali in corrispondenza dei giunti.

D - In corrispondenza delle zone di contatto i cedimenti differenziali sono tali da aver generato fessure, avvallamenti o rigonfiamenti del corpo diga.

EROSIONE

A - Non sono presenti solchi, avvallamenti od altri segni di erosione.

B - Si possono individuare alcuni solchi, di larghezza e profondità ridotta, dovuti dall'erosione superficiale e/o aree depresse che possono costituire un impluvio naturale.

C - Si notano sul paramento segni più marcati dovuti al passaggio di acqua, erosioni superficiali e aree che possono costituire un impluvio naturale.

D - E' evidente una moderata attività di erosione che ha portato allo svilupparsi di solchi o all'asportazione dello strato superficiale di terreno.

E - Sono presenti solchi dovuti ad erosione da scorrimento superficiale, molto marcati, interessanti il paramento di valle per tutta la sua lunghezza.

FESSURAZIONI

A - Nessuna fessura segnalata.

B - Sono presenti fessure longitudinali di larghezza e profondità minore di 10 mm, limitate a singole aree.

C - Sono presenti fessure trasversali di apertura e profondità minore di 10 mm, che non si estendono attraverso tutto il coronamento.

D - Le fessure trasversali (profondità minore di 10 mm) e quelle longitudinali (tra 10 e 20 mm di larghezza) interessano ampie zone del corpo diga.

E - Sono presenti fessure longitudinali di larghezza maggiore di 20 mm e trasversali maggiori di 10 mm, con queste ultime attraversanti il corpo diga. Fessure di ridotte estensione ma di profondità tale da interessare il livello di massimo invaso.

FILTRAZIONI

A - Le aree di contatto risultano essere asciutte, con caratteristiche uniformi.

B - Le aree di contatto risultano umide.

D - Le aree di contatto sono caratterizzate da terreno molto umido.

E - In corrispondenza delle aree di contatto si possono individuare ampie zone con sorgenti sospese o poche zone concentrate in cui le venute di acqua sono cospicue.

ELEMENTI DI PROTEZIONE DELL'AREA DI CONTATTO

A - Le zone del corpo diga in prossimità dell'area di contatto risulta protetta e adeguatamente rivestita.

B - Gli elementi di protezione sono danneggiati, ma ancora in grado di svolgere la loro funzione.

D - Non esistono elementi di protezione o questi sono compromessi a causa della loro rottura, rimozione parziale, o cattiva manutenzione.

INVASO

INTERSEZIONE RETICOLO NATURALE

INTERSEZIONE RETICOLO NATURALE

A - Il lago di invaso è isolato dal reticolo idrografico.

B - Il lago di invaso è collegato al reticolo idrografico tramite un'opera di derivazione.

D - Il lago di invaso è in linea con il reticolo idrografico.

TIPOLOGIA DELL'OPERA DI DERIVAZIONE

A - Possibilità di scollegare completamente il lago di invaso dal reticolo naturale.

B - Impossibilità di separare completamente i due elementi.

DISPOSITIVI IN INGRESSO

A - Gli eventuali organi di regolazione non presentano segni di corrosione, degrado e lesioni. I dispositivi di movimentazione sono funzionanti ed hanno mostrato la loro capacità di funzionamento durante eventi precedenti.

B - Gli eventuali organi di regolazione presentano alcuni segni di corrosione, degrado e lesioni. Questi sono limitati a piccole aree, senza compromettere la funzionalità del dispositivo. I dispositivi di movimentazione sono funzionanti ed hanno mostrato la capacità di funzionamento durante eventi precedenti.

C - Gli eventuali organi di regolazione presentano alcuni segni di corrosione, degrado e lesioni. Questi interessano aree estese, senza compromettere la funzionalità del dispositivo. I dispositivi di movimentazione sono funzionanti ed hanno mostrato la capacità di funzionamento durante eventi precedenti.

D - Gli eventuali organi di regolazione presentano alcuni segni di corrosione, degrado e lesioni. Questi, anche se allo stato attuale non compromettono la funzionalità del dispositivo, interessano aree che, se non sottoposte ad interventi di manutenzione, possono determinare nel lungo periodo un'anomalia del dispositivo. I dispositivi di movimentazione sono funzionanti ed hanno mostrato la loro capacità di funzionamento durante eventi precedenti.

E - Non si hanno informazioni sul funzionamento dei dispositivi di movimentazione oppure questi non sono mai stati usati precedentemente. Lo stato di conservazione e manutenzione dei dispositivi è tale per cui il dispositivo non è funzionante o non può essere garantita la stessa tenuta idraulica e strutturale dell'opera.

MISURA PORTATE IN INGRESSO

A - Sistema di controllo delle portate in ingresso automatico con doppia alimentazione e manuale.

B - Sistema di controllo delle portate in ingresso automatico con singola possibilità di alimentazione e manuale.

C - Controllo affidato completamente al personale di controllo.

LIVELLO

SERIE STORICA LIVELLI

A - E' possibile ricostruire una serie storica dei livelli nel serbatoio estesa a più anni.

B - E' possibile conoscere una sola serie storica annuale dei livelli, recente, riferita alle condizioni di esercizio dell'invaso.

C - Non esistono registrazioni dei livelli idrici nel lago di invaso.

STAGIONALITA' LIVELLI

A - Il livelli sono soggetti a variazione su base annua.

- B - I livelli sono soggetti a variazione su scala mensile o inferiore al mese.
- C - Non è possibile riconoscere una stagionalità nei livelli.

REGIME CONTROLLATO

- A - L'invaso è sottoposto ad un regime controllato sui livelli.
- B - La regolazione è effettuata autonomamente dal gestore.

STORIA DEL RIEMPIMENTO DEL SERBATOIO

- A - L'invaso raggiunge almeno una volta all'anno la quota di massimo invasabile.
- B - L'invaso supera almeno una volta all'anno il 90% di riempimento valutato in termini di altezza massima invasabile.
- C - L'invaso supera almeno una volta all'anno il 75% di riempimento valutato in termini di altezza massima invasabile.
- D - L'invaso supera almeno una volta all'anno il 50% di riempimento valutato in termini di altezza massima invasabile.
- E - L'invaso non supera almeno una volta all'anno il 50% di riempimento valutato in termini di altezza massima invasabile.

VIGILANZA

- A- l'invaso è presidiato 24/24h da personale tecnico, il sito è ben illuminato e accessibile
- B- l'invaso è presidiato dal gestore, ci sono sistemi di allarme, il sito è ben illuminato e accessibile
- C- sorveglianza in remoto, il sito presenta difficoltà di accesso
- D- assenza di sorveglianza ma sito accessibile e adeguatamente illuminato
- E- assenza di sorveglianza, sito difficilmente accessibile, assenza di illuminazione

MISURA DEL LIVELLO

- A- è presente un misuratore a ultrasuoni con trasmissione automatica dei dati e allarme automatico al superamento di valori soglia
- B- è presente un'asta graduata monitorabile in remoto con una telecamera
- C- la misura è effettuata visivamente dal gestore in sito

TRASPORTO SOLIDO

TRASPORTO SOLIDO

- A - Assenza di trasporto solido in alveo a monte.
- B - Scarso trasporto solido nell'alveo a monte.
- C - Elevato trasporto solido in alveo.

MATERIALE GALLEGGIANTE

- A - Assenza di materiale (alberi, arbusti,...) galleggiante.
- C - Materiale di piccole dimensioni, galleggiante sul lago.
- E - Materiale di grandi dimensioni, galleggiante sul lago.

INTERRIMENTO ATTUALE

- A - Il serbatoio è privo di detriti al suo interno.
- B - Il serbatoio risulta interrto per meno del 30% del suo volume.
- C - Il serbatoio è interrto.

LAMINAZIONE

CAPACITÀ DI LAMINAZIONE

- A - Il serbatoio è destinato alla laminazione delle piene.
- B - La quota di regolazione è inferiore alla quota di massimo invaso.
- C - Il serbatoio non è stato progettato per la laminazione delle piene.

VOLUME DI LAMINAZIONE

- A - Volume di laminazione maggiore di 3 volte il volume della piena di periodo di ritorno di 100 anni.
- B - Volume di laminazione compreso tra 2 e 3 volte il volume della piena di periodo di ritorno di 100 anni.
- C - Volume di laminazione tra 1 e 2 volte il volume della piena di periodo di ritorno di 100 anni.
- D - Volume di laminazione tra il 50% ed il 100% del volume della piena di periodo di ritorno di 100 anni.
- E - Volume di laminazione assente o di capacità inferiore a al 50% del volume della piena di periodo di ritorno pari a 100 anni.

Problemi di Diagnosi e di Prognosi

DIAGNOSI SULLA BASE DEI DATABASE INTERNAZIONALI

Il topic di questo paragrafo è quello di rispondere alla domanda: Quale è la probabilità di accadimento desumibile da incidenti passati? Se è, infatti, possibile comprendere qual è la probabilità da associare agli accadimenti dei vari alberi di evento sarà anche possibile tarare il modello on modo che i risultati ottenuti per il parco dighe regionali siano robusti. Dalla fase di diagnosi degli incidenti a scala mondiale si può, assumendo un parco dighe omogeneo, passare alla fase di prognosi del parco dighe regionale e rispondere alla domanda: Come stimare la probabilità di accadimento per gli invasi esistenti?

Quale è la probabilità di accadimento desumibile da incidenti passati? Per rispondere a questa domanda si sono utilizzati e seguenti database:

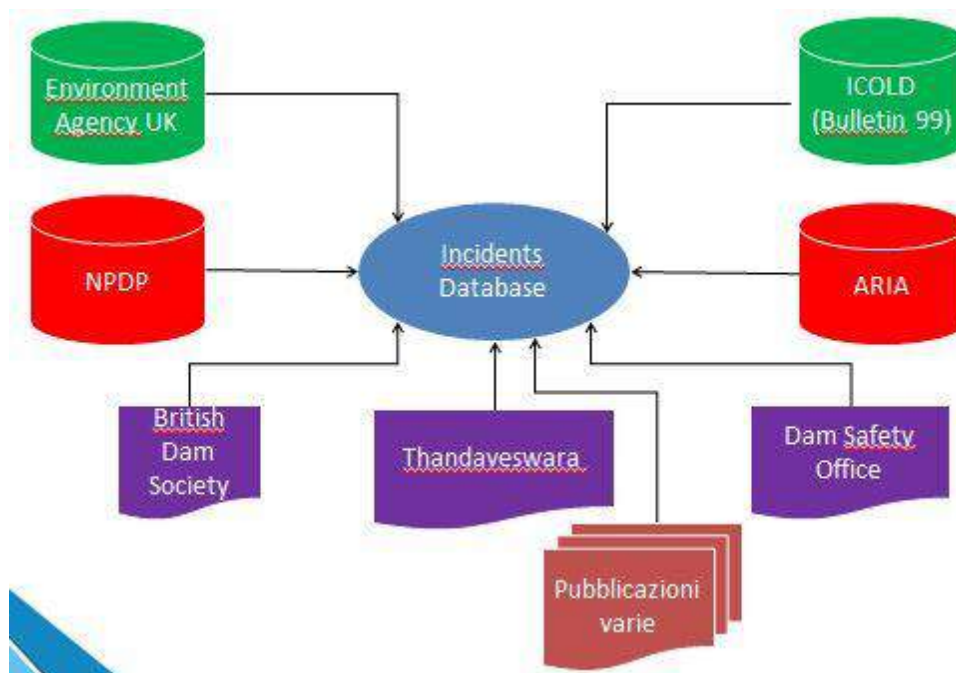


Figura 7: Il nuovo DataBase realizzato

- 1) “**I**nternational **C**ommission **O**n **L**arge **D**ams”, organizzazione non governativa (1928). Informazioni dettagliate su 58 000 dighe distribuite in tutto il pianeta
- 2) “**N**ational **P**erformance of **D**ams **P**rograms”, Università di Stanford (dal 1994). Il database conta 84100 dighe al 2009, l’81% delle dighe inventariate è realizzato in terra
- 3) “**N**ational **I**nventory of **D**ams”, Federal Emergency Management Agency

- 4) ”*Analysis, Research and Information on Accidents*”, sviluppata dal BAR-PI (Bureau d’Analyse des Risques et Pollution Industriels) eventi potenzialmente dannosi per l’ambiente, la sicurezza pubblica o la salute dei cittadini.

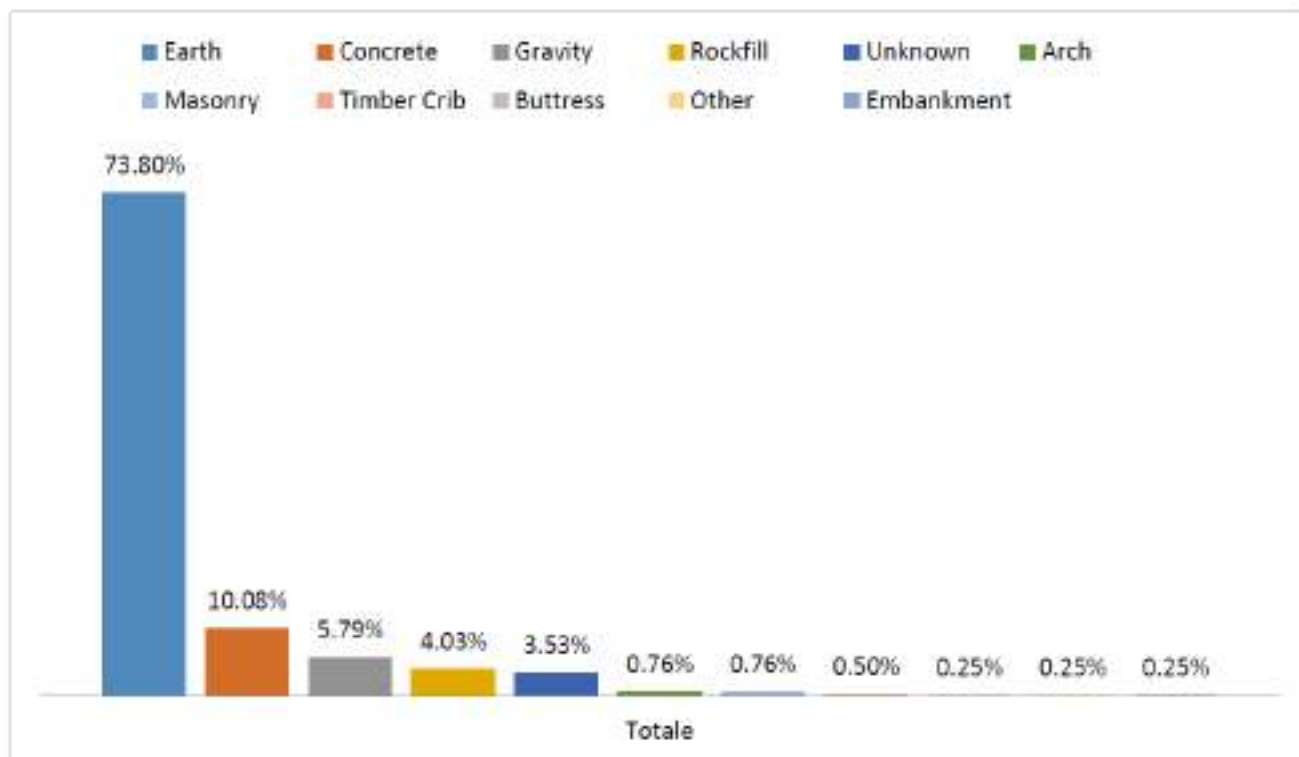


Figura 7: Percentuale degli incidenti di PICCOLE dighe per tipologia

Questo è il quadro di riferimento di ciò che ci aspettiamo possa accadere in funzione dell’albero di evento scelto. La probabilità di accadimento o non accadimento ad ogni nodo è funzione delle anomalie attribuibili a quel nodo e delle relative probabilità di accadimento

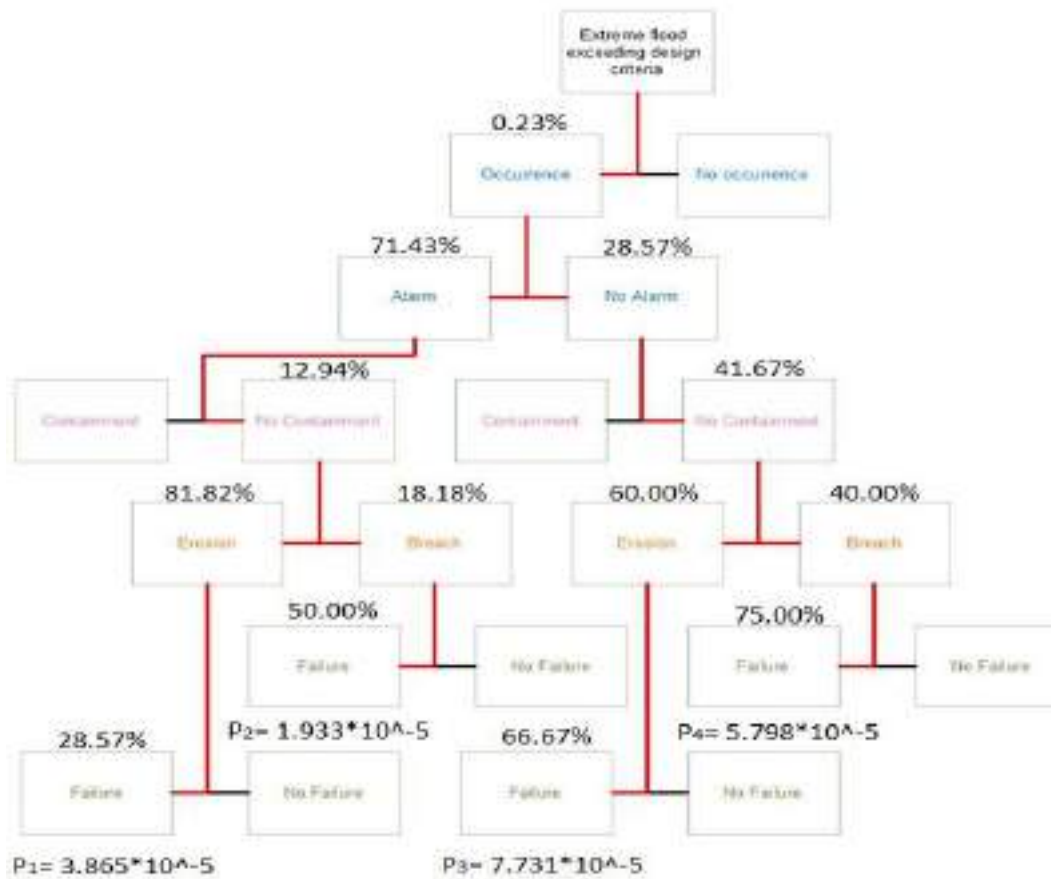
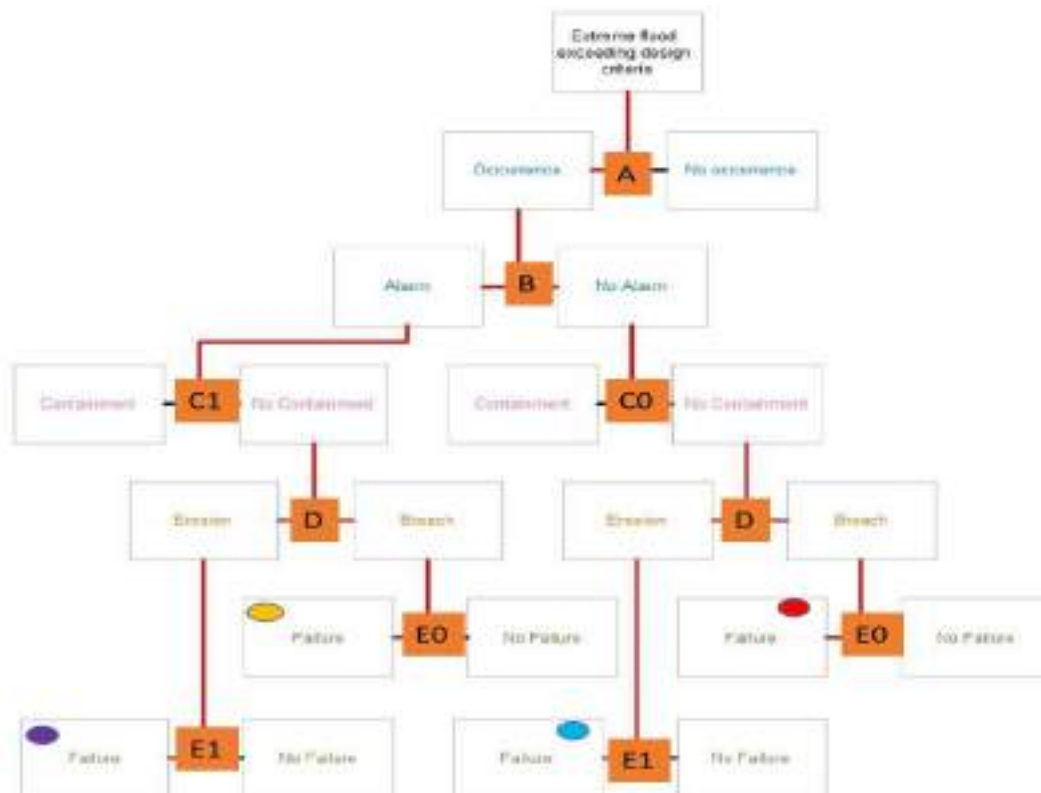


Figura 8: Percentuale di incidente diviso per alberi di evento



WP 3.3.1 – Développement d'un outil de gestion des presque accidents

Livrable 2 : Outil de gestion des presque accidents (émergence)

Développement d'un outil de gestion des presque accidents de barrages

GUIDE « PETITS BARRAGES EN REMBLAI ET SITUATIONS D'INCIDENT »



Novembre 2019

GUIDE « PETITS BARRAGES EN REMBLAI ET SITUATIONS D'INCIDENT »

Table des matières

Plan du guide.....	3
1. Domaines d'application et organisation du guide	4
1.1. Les petits barrages en remblai.....	4
1.2. Les intervenants	4
1.3. Objectifs du guide.....	5
2. Modes et mécanismes de rupture rencontrés sur les barrages en remblai	5
2.1. Erosion externe initiée par une surverse [8]	5
2.1.1. Le mécanisme.....	5
2.1.2. Les causes.....	5
2.1.3. Les symptômes.....	5
2.2. Erosion interne [5] [8] [9]	7
2.2.1. Le mécanisme.....	7
2.2.2. Les causes.....	8
2.2.3. Les symptômes.....	8
2.3. Glissement de parement	10
2.3.1. Le mécanisme de glissement du parement aval	10
2.3.2. Le mécanisme de glissement du parement amont	10
2.3.3. Les causes.....	10
2.3.4. Les symptômes.....	11
2.4. Modes de défaillance des organes hydromécaniques [4]	12
2.5. Désordres dus aux Séismes [8][15][21]	12
2.5.1. Le zonage du risque sismique en France.....	12
2.5.2. Les désordres	12
2.5.3. Le mécanisme de liquéfaction des sols	12

3.	Retour d'expérience sur des événements gérés en situation d'incident.....	13
3.1.	Introduction.....	13
3.2.	Analyse des symptômes observés sur le terrain	13
3.2.1.	Erosion interne.....	13
3.2.2.	Erosion externe	14
3.2.3.	Glissement de talus.....	14
3.2.4.	Rupture de vantellerie.....	14
3.3.	Analyse des actions mises en œuvre.....	14
4.	Gestion des situations d'incident sur les petits barrages en remblai	16
4.1.	Introduction.....	16
4.2.	Etape 1 : Evénement observé sur le terrain	16
4.3.	Etape 2 : Evaluation du niveau de gravité	17
4.4.	Etape 3 : Définition des actions à mener.....	19
4.4.1.	Vidange d'urgence hors cas de surverse.....	19
4.4.2.	Vidange d'urgence en cas de surverse.....	24
4.4.3.	Recensement des enjeux en aval [18] [20]	24
4.4.4.	Mise en sécurité des enjeux en aval [1] [16].....	25
4.4.5.	Vidange partielle	25
4.4.6.	Surveillance renforcée [17]	26
4.4.7.	Diagnostic par bureau d'études et travaux de confortement [7] [8]	28
4.5.	Synthèse de la démarche.....	28
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	29
	Ouvrages	29
	Sites internet.....	30
	ANNEXES	
	ANNEXE 1 : Les Evénements Importants pour la Sécurité Hydraulique (EISH)	31
	ANNEXE 2 : Zonage sismique de la France (Source : www.planseisme.fr).....	33
	ANNEXE 3 : Base de données – Liste des barrages considérés dans l'analyse.....	34
	ANNEXE 4 : Retour d'expérience : Analyse de la base de données	37
	ANNEXE 5 : Fiche d'observations et fiche récapitulative de la démarche à appliquer en situation d'incident	40

GUIDE « PETITS BARRAGES EN REMBLAI ET SITUATIONS D'INCIDENT »

Rédacteurs :

Laurent Peyras et Corinne Curt

PLAN DU GUIDE¹

Le contenu du livrable suit le plan suivant :

1) Domaines d'application et organisation du guide :

Ce chapitre introduit le contexte, les objectifs et le périmètre d'application du livrable.

2) Modes et mécanismes de rupture rencontrés sur les barrages en remblai :

Ce chapitre fait un point succinct sur les principaux mécanismes de rupture (et leurs causes et symptômes) rencontrés sur les barrages en remblai.

3) Retour d'expérience d'événements gérés en situation d'incident :

Ce chapitre présente un retour d'expérience sur la gestion, en situation d'incident, d'événements survenus sur des ouvrages (principalement des petits barrages en remblai). Il s'agit d'un travail d'identification, de collecte, d'analyse et de traitement d'événements qui ont porté atteinte à la sécurité d'ouvrages, en se basant sur le retour d'expérience capitalisé par la profession.

4) Gestion des situations d'incident sur les petits barrages en remblai :

Ce chapitre propose une démarche pour l'analyse et la gestion des situations d'incident susceptibles de survenir sur les petits barrages en remblai. En fonction de l'événement observé sur le terrain, cette méthodologie évalue la gravité de la situation suivant trois classes et définit un nombre d'actions à mettre en œuvre pour réduire ou limiter le risque de défaillance du barrage. L'ensemble de la démarche est synthétisé dans un arbre d'aide à la décision.

Deux fiches opérationnelles sont disponibles en Annexe 5. Ces fiches synthétisent la démarche à suivre en cas d'incident.

1. DOMAINES D'APPLICATION ET ORGANISATION DU GUIDE

1.1. LES PETITS BARRAGES EN REMBLAI

Les recommandations de ce guide viennent s'appliquer aux barrages en remblai, de construction récente ou ancienne, de petite taille, et qui constituent des retenues d'eau à usages multiples (irrigation de terres agricoles, production de neige de culture, alimentation en eau potable, hydroélectricité, activités de loisirs, piscicultures, etc.).

On entend par barrage de taille petite, les petits barrages dans la classe C ou ceux plus modestes ne relevant pas d'une classe administrative (cf. Tableau 1). Ce sont souvent des ouvrages pour lesquels l'administration possède peu voire pas d'informations techniques sur leur fonctionnement, leur niveau de sûreté voire leur existence.

Le guide se concentre sur les petits barrages en remblai du fait de leur prédominance dans les situations d'incident, comme le montre l'analyse portée au chapitre 3 du guide. En effet, sur un échantillon de 59 ouvrages ayant connu des incidents, sont recensés 53 barrages en remblai dont 42 de classe C ou non classés. Néanmoins, le retour d'expérience intègre également quelques événements survenus sur des ouvrages qui relèvent des classes A ou B et de typologies différentes au remblai (cinq barrages poids béton ou maçonnerie et un barrage voûte).

Tableau 1 : Classes administratives des barrages en fonction des caractéristiques géométriques en France

Classe de l'ouvrage	Caractéristiques géométriques
A	$H > 20 \text{ m}$ et $H^2 \times V^{1/2} > 1\,500$
B	Ouvrage classé en A et pour lequel $H > 10 \text{ m}$ et $H^2 \times V^{1/2} > 200$
C	a) Ouvrage non classé en A ou B pour lequel $H > 5 \text{ m}$ et $H^2 \times V^{1/2} > 20$ b) Ouvrage pour lequel les conditions prévues au a) ne sont pas satisfaites mais qui répond aux conditions cumulatives ci-après : a. $H > 2 \text{ m}$; b. $V > 0,5 \text{ hm}^3$; c. Il existe une ou plusieurs habitations à l'aval du barrage, jusqu'à une distance par rapport à celui-ci de 400 mètres.

1.2. LES INTERVENANTS

Ce guide est destiné à des acteurs qui possèdent des connaissances techniques sur les ouvrages hydrauliques mais non experts. Il concerne :

- En premier lieu, **les gestionnaires d'ouvrages** (propriétaires et exploitants) en particulier ceux qui ne sont pas accompagnés en permanence par des bureaux d'études (assistance à maîtrise d'ouvrage, maîtrise d'œuvre) pour répondre aux obligations réglementaires leur incombant en termes de sécurité des ouvrages ;
- **Les services de l'État** chargés du contrôle de la sécurité des ouvrages hydrauliques, afin d'évaluer la gravité de la situation d'incident de l'ouvrage dans le cadre de leur action de contrôle, et de viser à un retour à une situation normalisée ;
- **Les bureaux d'études** qui sont susceptibles d'intervenir auprès de gestionnaires d'ouvrages pour produire des diagnostics de sûreté de barrages lors de situations d'incident.

1.3. OBJECTIFS DU GUIDE

Les situations d'incident doivent être gérées dans un délai cohérent avec le risque d'imminence d'une défaillance afin de rétablir la sécurité de l'ouvrage. Cette gestion est généralement prise en charge par des experts des ouvrages hydrauliques qui mettent en œuvre un certain nombre d'actions. Or, ces actions ne sont actuellement pas formalisées, ce qui peut conduire à une situation critique si les gestionnaires d'ouvrages ne sont pas en mesure de mettre en œuvre des actions de réduction ou de maîtrise du risque lors d'une situation d'incident, en l'absence d'assistance experte.

Le présent guide répond à cette problématique en offrant aux ingénieurs, un outil d'aide dans la gestion des situations de gestion des presque accidents de barrages en proposant des procédures et des recommandations formalisées en fonction des observations constatées sur les barrages en situation de crise. Plusieurs phases de la gestion du risque sont concernées : l'alerte, la gestion de la crise elle-même et les actions de remédiation.

2. MODES ET MECANISMES DE RUPTURE RENCONTRES SUR LES BARRAGES EN REMBLAI

Ce chapitre expose de manière succincte et non exhaustive les principaux mécanismes de rupture rencontrés sur les barrages en remblai. Les processus de vieillissement et de dégradation des barrages en remblai sont essentiellement liés à des mécanismes d'infiltration et d'érosion ou d'instabilité mécanique qui peuvent aboutir aux mécanismes de rupture.

2.1. EROSION EXTERNE INITIEE PAR UNE SURVERSE [8]

2.1.1. LE MECANISME

Lorsque le débit dépasse les capacités d'évacuation des crues, la retenue déverse sur la crête et peut alors éroder le remblai jusqu'à une rupture totale du barrage. Dès le début d'une surverse sur un barrage, l'eau acquiert une forte vitesse sur le talus aval du barrage et l'érode par arrachement des grains qui sont transportés vers le bas. L'arrachement de ces grains supprime la force de butée qu'ils appliquaient aux grains situés à leur amont, qui peuvent à leur tour être arrachés. Le mécanisme est régressif.

2.1.2. LES CAUSES

Le mécanisme d'érosion externe induit par une surverse peut être dû à :

- un dimensionnement insuffisant ou un dysfonctionnement de l'évacuateur de crues résultant trop souvent d'un entretien inadapté ;
- la présence d'embâcles (arbres, branches, caravanes, etc.) bloquant tout ou partie du seuil déversant ;
- des tassements de la crête du remblai initiés par des déformations du remblai ou de la fondation.

2.1.3. LES SYMPTOMES

Les symptômes du mécanisme d'érosion externe observables sur le terrain sont :

- la surverse (cf. figure 1) ;
- le creusement de ravines (cf. figure 2).



Figure 1 : Brèche initiée par une surverse sur la digue du Vidourle (Source : SIAV)



Figure 2 : Ravine (Source : INRAE)

2.2. EROSION INTERNE [5] [8] [9]

2.2.1. LE MECANISME

L'érosion interne est un phénomène causé par un écoulement d'eau dans le remblai qui arrache et transporte les particules du sol. Ce mécanisme, qui désigne d'une façon générale dans les ouvrages en remblai les migrations de particules, couvre plusieurs phénomènes (cf. figure 3) :

- l'érosion de conduit : un défaut préexistant (par exemple : une fissure, un terrier, un conduit dû au pourrissement de racines) indépendant de l'érosion interne, traverse une partie du remblai ou de sa fondation. L'eau circulant dans ce conduit développe des contraintes de cisaillement suffisantes pour arracher et entraîner les particules en paroi du conduit ;
- l'érosion régressive : l'écoulement à travers l'ouvrage ou sa fondation entraîne des particules au débouché aval. Cela crée un conduit ou une perte de matière qui progresse vers l'amont. Si la perte de matière atteint la retenue en amont, une brèche peut alors s'initier ;
- l'érosion de contact : l'écoulement interne traversant une couche de sol grossier au contact d'une couche de sol fin peut entraîner les particules de sol fin le long du contact des deux couches (par exemple : entre un remblai constitué de matériaux fins et sa fondation grossière) ;
- la suffusion : l'écoulement traversant un matériau à granulométrie discontinue ou étalée entraîne les particules de la fraction fine libres de se mouvoir à travers les vides des particules grossières.

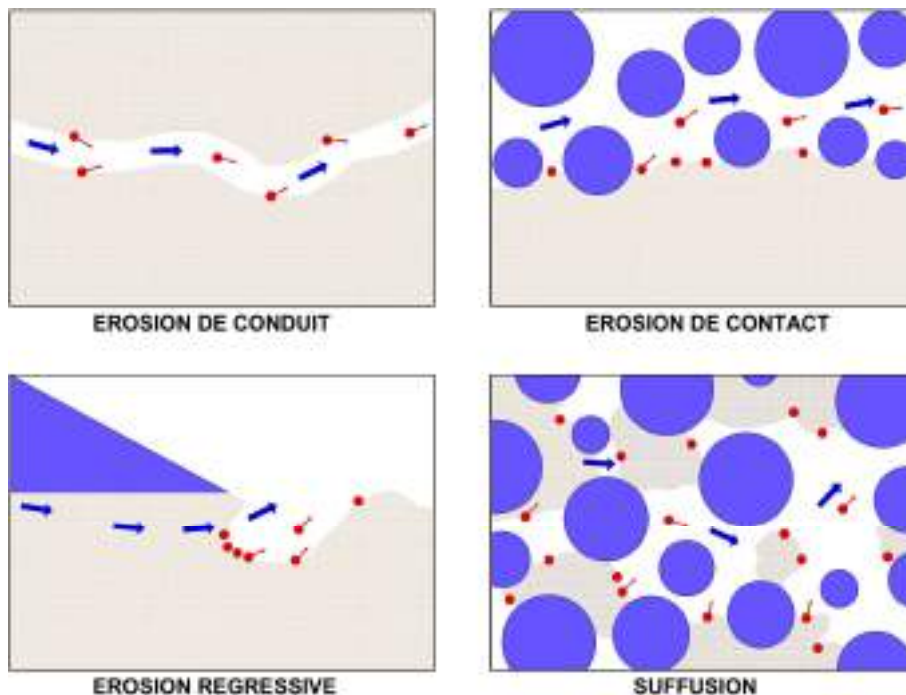


Figure 3 : Schémas des différents mécanismes d'érosion interne (d'après R. Béguin, 2011)

Le mécanisme d'érosion interne se produisant au cœur de l'ouvrage ou de sa fondation, il peut être décelé visuellement par la détection de fuites plus ou moins chargées en particules fines débouchant sur le parement aval ou au pied aval du remblai.



Figure 4 : Brèche initiée par le mécanisme d'érosion de contact sur le barrage des Ouches (Source : INRAE)

2.2.2. LES CAUSES

Le mécanisme d'érosion interne peut être dû à :

- la défaillance du système d'étanchéité ;
- l'absence de filtre ou des conditions de filtre non respectées entre un matériau grossier et un matériau fin ;
- la défaillance du système de drainage (colmatage, contournement, rupture) ;
- un sous-compactage des couches de matériaux constituant le remblai ;
- l'écoulement non contrôlé le long d'une conduite de vidange (ou autre) ou la défaillance de la conduite ;
- la présence de terriers (animaux fouisseurs) dans le corps du remblai ;
- la présence de végétation arborée sur le remblai dans lequel le système racinaire peut s'implanter et se développer.

2.2.3. LES SYMPTOMES

Les symptômes du mécanisme d'érosion interne observables sur le terrain sont :

- la formation d'un vortex dans la retenue ;
- le fontis (cf. figure 5) ;
- l'apparition d'une fuite avec éventuellement la présence de grains de sol (cf. figure 6) ;
- l'apparition d'une zone humide (cf. figure 7) ;
- la déformation en crête.



Figure 5 : Fontis (Source : Projet ERINOH¹)



Figure 6 : Fuite (Source : INRAE)

¹ ERINOH : EROsion INterne des Ouvrages Hydrauliques



Figure 7 : Zone humide en pied aval (Source : INRAE)

2.3. GLISSEMENT DE PAREMENT

2.3.1. LE MECANISME DE GLISSEMENT DU PAREMENT AVAL

L'équilibre du parement aval dépend de sa géométrie (pente), des caractéristiques mécaniques des matériaux le constituant et de la présence d'eau. L'infiltration d'eau dans le corps du barrage en remblai introduit des pressions interstitielles. Les forces motrices dues au poids des terres au-dessus de la surface potentielle de glissement peuvent l'emporter sur les forces résistantes dues au frottement le long de la surface de rupture. La stabilité au glissement du parement aval peut alors en être affectée. Le glissement du parement aval est dangereux car il se produit souvent retenue pleine ou lorsque le niveau d'eau est à la hausse, ce qui peut potentiellement aggraver le phénomène par occurrence d'une surverse sur la zone de glissement.

Il peut de plus se poursuivre par un mécanisme d'érosion interne due à l'augmentation du gradient hydraulique, d'autant plus si le cercle de glissement s'est rapproché du parement amont (il peut également dans ce cas se produire une érosion externe par surverse).

2.3.2. LE MECANISME DE GLISSEMENT DU PAREMENT AMONT

Pour le parement amont, l'eau apporte une poussée stabilisatrice et une force déstabilisatrice sous l'effet des pressions interstitielles. Lors d'une vidange de barrage, la stabilité dépend du niveau des pressions interstitielles de l'eau dans le parement amont avec la diminution du plan d'eau stabilisateur. La vidange constitue donc la circonstance la plus défavorable pour la tenue du parement amont.

La vidange partielle ou totale du plan d'eau est préconisée comme action pour traiter les situations d'incident au dernier chapitre du guide. C'est pourquoi le glissement du parement amont peut être une conséquence, mais sans pour autant constituer une situation d'incident.

2.3.3. LES CAUSES

Le mécanisme de glissement du parement peut être dû à :

- la défaillance du système d'étanchéité ;
- la défaillance du système de drainage (colmatage, contournement, rupture) ;
- l'augmentation des pressions interstitielles dans le remblai ;
- la déformation ou la fracturation du remblai.

2.3.4. LES SYMPTOMES

Les symptômes du mécanisme de glissement observables sur le terrain sont :

- le bourrelet au pied aval ;
- l'ondulation de peau sur le parement ;
- le glissement de peau sur le parement (cf. figure 8) ;
- la fissuration en crête ou sur le parement aval (avec ou sans décrochement) (cf. figure 9).



Figure 8 : Glissement de parement amont (Source : INRAE)



Figure 9 : Fissuration (Source : INRAE)

2.4. MODES DE DEFAILLANCE DES ORGANES HYDROMECHANQUES [4]

Les principaux modes de défaillance mécanique et de pilotage automatique rencontrés sur les organes hydromécaniques présents sur les barrages (vidange, prise d'eau, évacuateur de crues) concernent :

- la perte de manœuvrabilité (par exemple : causée par l'absence de manœuvre régulière, l'absence de test, une panne du dispositif de contrôle-commande, le blocage de la chaîne cinématique, le gel, l'envasement) ;
- l'ouverture / fermeture intempestive (par exemple : causée par un défaut technique du contrôle-commande, une erreur de manipulation humaine ou la malveillance) ;
- la rupture du corps de la vanne, de la conduite, d'une pièce fixe ou d'un élément de la chaîne cinématique (par exemple : causée par une mise en charge hydrostatique ou hydraulique trop importante, des chocs de corps flottants, un vieillissement initié par le mécanisme de corrosion). La rupture d'une conduite dans le corps du remblai peut potentiellement engendrer l'initiation du mécanisme de rupture par érosion interne.

La synthèse des enseignements tirés dans l'analyse réalisée par le CFBR dans le groupe de travail « Accidentologie et incidentologie des barrages » montre que les modes de défaillance résultent de problèmes techniques (conception d'un système de vannage pas infaillible) ou bien de manquements organisationnels (la surveillance et la maintenance préventive sont-elles correctement déclinées ? l'organisation en place concourt-elle réellement à la sûreté des dispositifs ?).

2.5. DESORDRES DUS AUX SEISMES [8][15][21]

2.5.1. LE ZONAGE DU RISQUE SISMIQUE EN FRANCE

La France dispose d'un zonage sismique divisant le territoire national en cinq zones de sismicité croissante (cf. carte du zonage sismique en Annexe 2). Une grande partie du territoire français est soumis à un niveau d'aléa sismique évalué de « très faible » (zone 1) à « moyen » (zone 4). Ce dernier niveau d'aléa concerne les massifs montagneux des Alpes et des Pyrénées.

La zone frontalière France-Italie concernée particulièrement par le guide se situe en zone 3 et 4.

2.5.2. LES DESORDRES

Les désordres les plus fréquemment observés après un séisme sur des ouvrages en remblai sont généralement des fissurations et des tassements en crête, d'autant plus importants quand les remblais ont été mal compactés à la construction, des ruptures de conduites rigides, des dégradations sur les organes vannés et leur dispositif de manœuvre et des dégâts dus aux chutes de blocs de versants rocheux.

Consécutivement à un séisme survenu à proximité d'un ouvrage, il convient de réaliser une visite de surveillance visuelle et un relevé et une analyse des données d'auscultation, afin de vérifier l'état de sécurité de l'ouvrage.

2.5.3. LE MECANISME DE LIQUEFACTION DES SOLS

Les barrages en remblai et leur fondation meuble peuvent également être sensibles au mécanisme de liquéfaction des sols. Ce mécanisme concerne les sols saturés et peu cohésifs qui, sous l'effet d'un mouvement sismique, conduit à une diminution de la rigidité du sol et de sa résistance avec l'accumulation des pressions interstitielles et la réduction des contraintes effectives (les forces intergranulaires). Ce phénomène peut conduire à des déformations permanentes significatives, voire une quasi annulation de la contrainte effective dans le sol.

3. RETOUR D'EXPERIENCE SUR DES EVENEMENTS GERES EN SITUATION D'INCIDENT

3.1. INTRODUCTION

Ce chapitre présente un retour d'expérience sur la gestion de situations d'incident survenues sur des barrages. Pour ce faire, un travail d'identification, de collecte, d'analyse et de traitement d'événements qui ont porté atteinte à la sécurité de barrages a été réalisé. Ce travail se base sur le retour d'expérience capitalisé par la profession :

- les cas vécus en direct ou bien en différé par l'appui technique lors de situations d'incident ;
- les EISH et PSH² transmis par les gestionnaires d'ouvrages aux services de contrôle qui, pour la majorité, sont renseignés dans la base de données ARIA³ du BARPI⁴ ;

Une base de données collecte l'ensemble des événements observés et fait ressortir pour chaque événement :

- la date et le type de barrage concerné ;
- le type d'événement survenu en fonction du niveau de gravité ;
- le mécanisme de rupture initié ;
- les symptômes observés sur le terrain précurseurs au mécanisme de rupture ;
- les actions mises en œuvre pour traiter la situation d'incident ;
- la situation d'exploitation du barrage : « normale » ou « en crue ».

Cette base de données est présentée en Annexe 3. Elle liste un échantillon de 59 barrages, dont principalement des petits barrages en remblai, en classe C ou non classés. Une analyse statistique accompagnée de graphiques est présentée en Annexe 4. La section 3.2 suivante détaille plus finement l'analyse de la base de données. Pour disposer d'une base plus étoffée, les études de cas ont été recherchées sur tout le territoire français.

3.2. ANALYSE DES SYMPTOMES OBSERVES SUR LE TERRAIN

3.2.1. EROSION INTERNE

Pour la majorité des cas analysés (18 cas), la surveillance visuelle a permis de détecter l'initiation du mécanisme d'érosion interne par :

- la détection de nouvelles fuites / résurgences sur le remblai (parement aval ou pied aval) chargées en fines ou non ;
- la mesure de débits de fuites anormalement élevés dans l'analyse des données de l'auscultation.

² Événements Précurseurs pour la Sûreté Hydraulique

³ La base ARIA (Analyse, Recherche et Information sur les Accidents) recense les incidents ou accidents qui ont, ou auraient, pu porter atteinte à la santé ou la sécurité publique, l'agriculture, la nature et l'environnement. Pour l'essentiel, ces événements résultent de l'activité d'usines, ateliers, dépôts, carrières, élevages, etc. classés au titre de la législation relative aux Installations Classées, mais également des ouvrages hydrauliques. Site Web : <http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/>

⁴ Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industriels

Les autres cas analysés (3 cas) concernent la rupture du remblai par le mécanisme d'érosion interne avec la formation d'une brèche qui a conduit à la vidange totale ou partielle du plan d'eau.

3.2.2. EROSION EXTERNE

Pour les deux tiers des cas analysés (16 cas), la surverse au-dessus de la crête du barrage a conduit à une dégradation majeure de l'ouvrage (griffes d'érosion, etc.) ou bien à la formation d'une brèche avec une vidange partielle ou totale du plan d'eau.

Pour un tiers des cas analysés (8 cas), la surverse n'a pas conduit à de dégradation majeure de la crête ou du parement aval. La surverse au-dessus de la crête a pu être observée pendant la crue ou bien par la détection d'indices post-crue (laisses de crues⁵, végétation renversée).

3.2.3. GLISSEMENT DE TALUS

Pour la majorité des cas analysés (8 cas), le mécanisme de glissement s'est produit sur le parement aval ou amont du barrage avec l'observation d'affaissements ou de fontis.

Pour les autres cas (3 cas), le mécanisme de glissement de talus a pu être identifié et ses conséquences amoindries grâce à la surveillance visuelle par l'observation de fissuration en crête et grâce à l'analyse des données de l'auscultation par l'observation de débits de fuites et d'une piézométrie élevés.

3.2.4. RUPTURE DE VANTELLERIE

Le premier cas analysé concerne le déboîtement d'une conduite de vidange dû à une surpression. L'incident a été constaté par l'augmentation brusque des débits de fuites et un ennoïement pour moitié de la galerie de visite.

Le second cas analysé concerne la fissuration d'une vanne de prise d'eau qui s'est produite lors d'une manœuvre d'essai suite à la pénétration d'un branchage sur le dessus de la prise d'eau.

Le dernier cas concerne le blocage d'une vanne lors d'une manœuvre initiée pour la refermer après qu'elle ait été maintenue ouverte pendant un mois pour évacuer un sur-débit dû à la fonte des neiges.

3.3. ANALYSE DES ACTIONS MISES EN ŒUVRE

Pour l'ensemble des cas analysés où il n'y a pas eu de rupture de l'ouvrage (49 cas), la **première action d'urgence** mise en œuvre a consisté à venir **abaisser partiellement ou bien complètement le niveau de la retenue** pour limiter ou stopper le déroulement du mécanisme de rupture déclenché, et ce afin de mettre en sécurité le barrage et les enjeux en aval.

Différents moyens techniques ont été employés⁶ :

- l'ouverture de l'organe de vidange (30 cas) ;
- l'utilisation d'un dispositif de pompage (4 cas) ;
- la création d'une brèche (8 cas) ;
- la pose d'un passage busé à l'abri d'un batardeau (1 cas).

⁵ Trace laissée par le niveau des eaux fluviales ou marines (cas des submersions marines) les plus hautes (marques sur les murs, déchets accrochés aux branches). Dans le cadre de l'élaboration d'un plan de prévention des risques inondation, on répertorie lors de l'enquête de terrain les laisses de crues pour permettre d'établir la carte des aléas historiques (source : www.georisques.gouv.fr).

⁶ A noter que pour certains événements, deux techniques ont été mises en œuvre pour abaisser le niveau de la retenue.

Les trois dernières techniques ont été utilisées dans les cas de :

- impossibilité d'ouvrir la vanne (dysfonctionnement de la vidange, obstruction de la vidange, etc.) ;
- possible mise en danger de la sécurité de l'ouvrage par utilisation de la vidange (sensibilité à l'érosion d'une galerie maçonnée, fissuration ou déboîtement d'une conduite dont la mise en charge, et donc le risque de fuites, pourrait initier le mécanisme d'érosion interne dans le remblai, etc.) ;
- absence d'organe de vidange.

Pour les cas de rupture de barrages avec une vidange partielle de la retenue, les principales actions mises en œuvre ont consisté à vidanger totalement la retenue et à agrandir la brèche (jusqu'au terrain naturel) et reprofiler les pentes latérales de la brèche pour éviter qu'il y ait un remplissage suite au passage d'une crue.

Pour les cas de rupture du barrage avec une vidange totale de la retenue, il n'a pas été mis en œuvre d'action en l'attente d'éventuels travaux de réparation ou bien il y a eu un agrandissement et un reprofilage de la brèche.

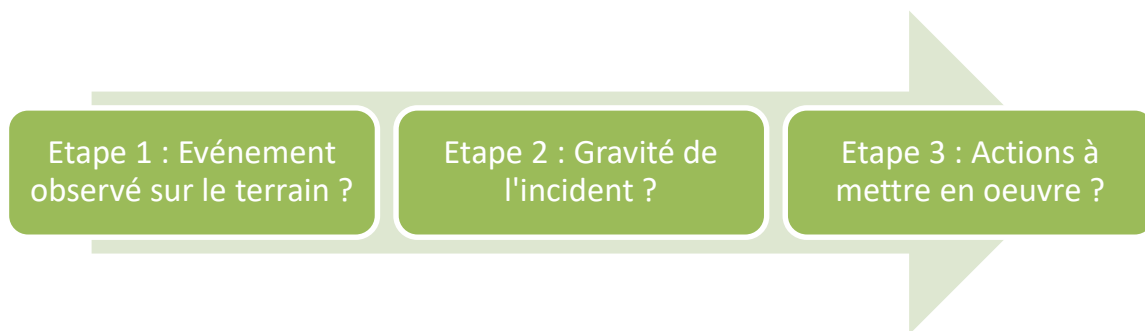
4. GESTION DES SITUATIONS D'INCIDENT SUR LES PETITS BARRAGES EN REMBLAI

4.1. INTRODUCTION

Le présent guide formalise les procédures à tenir dans l'analyse et la gestion des situations d'incident que peuvent connaître les petits barrages en remblai. Il s'appuie sur la connaissance des mécanismes de ruptures des barrages en remblai (cf. chapitre 2) et l'analyse du retour d'expérience d'événements gérés en situations d'incident (cf. chapitre 3).

La démarche proposée pour l'analyse et la gestion des situations d'incident se déroule suivant trois étapes qui sont présentées plus en détail dans les prochains paragraphes :

- étape 1 : quel est l'événement observé sur le terrain ?
- étape 2 : quel est le niveau de gravité associé à l'événement observé sur le terrain ?
- étape 3 : quelles sont les actions à mettre en œuvre en fonction du niveau de gravité évalué ?



4.2. ETAPE 1 : EVENEMENT OBSERVE SUR LE TERRAIN

La première étape de la démarche consiste à identifier le(s) symptôme(s) observé(s) sur l'ouvrage et de les associer à un (des) mécanisme(s) de rupture. Le tableau ci-dessous (cf. Tableau 2) rappelle les symptômes associés à chacun des mécanismes de rupture des barrages en remblai. Rappelons que ces symptômes sont présentés plus en détail et illustrés au chapitre 2 du guide.

A ce stade de l'analyse, il convient également de réunir la documentation disponible sur l'ouvrage. Celle-ci doit être en premier lieu détenue par le gestionnaire de l'ouvrage. À défaut, le service de contrôle et éventuellement l'appui-technique peuvent posséder certains documents (études de conception et d'exécution, plans, étude hydrologique, études géologique et géotechnique, rapports de VTA, rapports de surveillance, etc.).

Tableau 2 : Liste des symptômes associés aux mécanismes de rupture des barrages en remblai

Mécanisme de rupture	Symptôme
Erosion interne	Vortex
	Fontis
	Fuite chargée
	Fuite claire
	Déformation en crête
	Zone humide
Erosion externe	Surverse
	Retenue à plein bord
	Evacuateur de crues absent ou indisponible
Glissement de talus	Bourrelet au pied aval
	Ondulation de peau sur le parement
	Glissement de peau sur le parement
	Fissuration en crête ou sur le parement aval (avec ou sans décrochement)

4.3. ETAPE 2 : EVALUATION DU NIVEAU DE GRAVITE

La deuxième étape de la démarche consiste à évaluer le niveau de gravité associé à l'événement observé sur le barrage.

Pour ce faire, il est proposé une échelle de gravité de l'incident suivant trois classes qui permet au non-expert d'avoir une première évaluation de la gravité associée à un événement observé (cf. Tableau 3). Ce jugement ne se substitue pas à l'analyse d'un spécialiste/expert en génie civil qui devra se prononcer sur le degré de gravité de l'incident. Il s'agit d'évaluer le risque d'imminence d'une défaillance du barrage.

Tableau 3 : Echelle de gravité de l'incident

Gravité de l'incident	Imminence d'une défaillance
1	Rupture possible à très court terme
2	Rupture possible à court terme
3	Rupture possible à moyen terme

L'imminence d'une défaillance est proposée à partir d'une échelle temporelle, dans les ordres de grandeur sont les suivantes :

- « Rupture possible à très court terme » : quelques semaines ou jours avant la défaillance ;
 - « Rupture possible à court terme »
 - « Rupture possible à moyen terme »
- } Les niveaux de gravité 2 et 3 correspondent à une échelle de temps allant de quelques mois à une ou plusieurs années.

A partir de cette échelle de gravité, il est proposé d'associer une classe de gravité de l'incident à chaque symptôme initiateur d'un mécanisme de rupture (cf. Tableau 4). Notons que ce tableau est susceptible d'évoluer dans le temps avec les données du retour d'expérience de l'accidentologie.

Tableau 4 : Gravité de l'incident associés aux symptômes initiateurs des mécanismes de rupture

Mécanisme de rupture	Symptôme		Gravité de l'incident		
	Symptôme principal	Symptôme secondaire	1	2	3
Erosion interne	Vortex à l'amont		X		
	Fontis	Fontis + Fuite chargée	X		
		Fontis seul		X	
	Fuite chargée	Fuite chargée + Fontis	X		
		Fuite chargée seule*	X	X	
	Fuite claire*			X	X
	Déformation en crête**			X	X
	Zone humide/mouillère	Zone humide avec autre symptôme			X
Zone humide seule					X
Erosion externe	Surverse	Totale	X		
		Localisée	X		
	Retenue à plein bord	Pendant la crue	X		
		Après la crue		X	
	Evacuateur de crues absent ou indisponible	Pendant la crue	X		
		Prévision de crue	X	X	
Glissement de talus	Bourrelet au pied aval	Bourrelet seul		X	
		Saturation / fuite / venue d'eau visible	X	X	
	Ondulation de peau sur le parement	Ondulation seule		X	
		Saturation / fuite / venue d'eau visible	X	X	
	Glissement de peau sur le parement	Glissement seul			X
		Saturation / fuite / venue d'eau visible		X	
	Fissuration en crête ou sur le parement aval (avec ou sans décrochement)	Fissuration seule			X
		Saturation / fuite / venue d'eau visible		X	

* A évaluer en fonction de l'intensité du débit évacué et de son évolution (si elle est connue, par les observations antérieures, ou visible sur le terrain, par l'observation d'une augmentation continue).

** A évaluer en fonction de la taille de la déformation.

4.4. ETAPE 3 : DEFINITION DES ACTIONS A MENER

La troisième étape de la démarche consiste à définir un programme de mesures à mettre en œuvre sur le barrage afin de réduire ou limiter le risque de rupture.

Pour ce faire, il a été défini et hiérarchisé un nombre d'actions à mettre en œuvre en fonction de la gravité de l'incident évaluée (cf. Tableau 5).

Tableau 5 : Programme d'actions à mener en fonction de la gravité de l'incident

Gravité de l'incident	Phase 1 : actions à mettre en œuvre immédiatement					Phase 2 : actions à mettre en œuvre dès que possible	
	Vidange d'urgence		Actions à proposer aux autorités		Vidange partielle (cf. §4.4.5)	Surveillance renforcée (cf. §4.4.6)	Diagnostic par bureau d'études et travaux de confortement (cf. §4.4.7)
	Hors cas de surverse (cf. §4.4.1)	En cas de surverse (cf. §4.4.2)	Recensement des enjeux en aval (cf. §4.4.3)	Mise en sécurité des enjeux en aval (cf. §4.4.4)			
1	X	X	X	X	X	X	X
2			X		X	X	X
3						X	X

Ces actions ou leur commande sont réglementairement de la responsabilité du propriétaire et/ou du gestionnaire de l'ouvrage. Cependant, dans certains cas, notamment en l'absence ou en cas de la défaillance du propriétaire⁷, l'urgence rendra nécessaire l'action d'un représentant du préfet ou de la protection civile.

Ces actions et leurs conditions de mise en œuvre sont présentées plus en détail dans les paragraphes suivants.

4.4.1. VIDANGE D'URGENCE HORS CAS DE SURVERSE

Plusieurs procédés de vidange sont envisageables en fonction de la situation rencontrée sur le terrain. Ils sont présentés dans les paragraphes suivants selon un ordre hiérarchique de mise en œuvre. Les conditions de leur application sont récapitulées dans le paragraphe 4.4.1.7.

4.4.1.1. *Condition de vidange : complète ou partielle*

En condition d'exploitation normale ou bien en crue (mais hors condition de surverse), la vidange de la retenue peut être menée totalement ou partiellement en fonction de l'évolution des symptômes observés (par exemple : elle peut être partielle jusqu'en-dessous du niveau de la fuite observée). Les actions à mener pour vidanger la retenue (complètement ou partiellement) en urgence sont présentées dans les paragraphes suivants.

4.4.1.2. *Ouverture de l'organe de vidange*

Les petits barrages en remblai sont généralement équipés d'un dispositif de vidange qui permet de vider la retenue. Cet organe est soit constitué d'une conduite (en acier ou en béton) pour les ouvrages récents, soit d'un

⁷ la notion de responsabilité de l'action qui sera réalisée n'est pas abordée dans le présent document

conduit (en pierre ou en bois) pour les ouvrages plus anciens. Cet organe traverse l'ouvrage en fond de retenue et est contrôlé par une ou deux vannes.

Cet organe peut être utilisé pour vidanger (complètement ou partiellement) la retenue en situation d'incident. Il convient alors de répertorier le nombre de dispositifs de vidange et de vannes disponibles sur le barrage, leur positionnement, leur moyen de manœuvrabilité et si elles sont opérationnelles.

Plusieurs dispositions sont à prendre en considération pour garantir une utilisation du dispositif de vidange vanné sans risque pour la structure du remblai et les personnes présentes sur le remblai ou à proximité :

- la conception : il convient de s'assurer qu'un dissipateur d'énergie est bien présent à l'exutoire aval de la vidange afin de se prémunir du risque d'affouillement au pied aval ;
- l'état structurel : des pathologies peuvent affecter les organes anciens. Ce sont, d'une part, la destruction superficielle et progressive des conduites en acier par le phénomène de corrosion et, d'autre part, la rupture au niveau d'un joint (mauvaise liaison entre deux tronçons) due à l'allongement de la conduite (acier, béton, maçonnerie) entraîné par une déformation importante du remblai ;
- la condition d'étanchéité : dans le cas d'un conduit ancien non jointif, il convient d'éviter sa mise en charge qui pourrait initier le mécanisme d'érosion interne de contact le long du conduit à son interface avec les matériaux du remblai ;
- l'effet du débit relâché en aval : il convient d'ouvrir progressivement la vanne de vidange (par paliers d'ouverture) afin de limiter le risque d'une montée trop rapide du cours d'eau en aval qui pourrait surprendre des personnes se trouvant aux abords.

Le temps de vidange de la retenue (en heures) peut être estimé avec la formule suivante (loi d'orifice) :

$$t = \frac{V}{0,6 \times S \times \sqrt{2 \times 9,81 \times H} \times 3\,600}$$

Avec :

- V : le volume de la retenue (m³).

Si le gestionnaire ne connaît pas le volume de la retenue, il peut être estimé par $V = \frac{A \times H}{3}$, avec A la surface du plan d'eau et H la différence de charge entre la retenue et le niveau aval ;

- S : la section de la vidange (m²) ;
- H : la différence de charge entre la retenue et le niveau aval (m).

4.4.1.3. Ouverture d'un autre organe

Les petits barrages en remblai sont parfois équipés de dispositifs de prise (par exemple : moulin, irrigation, etc.) et de restitution de l'eau (par exemple : soutien d'étiage) distincts du dispositif de vidange. Ces organes peuvent être utilisés en complément pour augmenter la capacité de vidange du barrage ou bien se substituer de l'organe de vidange si l'ouvrage n'est équipé d'aucun dispositif de vidange ou bien son utilisation est impossible ou dangereuse.

On peut retrouver trois types de dispositifs sur les petits barrages en remblai :

- une conduite traversant l'ouvrage en fond de retenue ou à un niveau intermédiaire contrôlée par vanne(s) ;
- un moine : il s'agit d'un dispositif constitué d'une colonne verticale en béton fermée par des planchettes, une vanne glissière ou autre, qui permettent de réguler le niveau de la retenue, et connecté à une conduite ou un conduit qui traverse le remblai en fond de retenue. A noter que la possibilité d'enlever les planchettes peut être rendue difficile lorsque le moine est en fonction ;

- un évacuateur de crues à surface libre : les évacuateurs de crues à surface libre (en béton ou maçonnerie) prolongés par un chenal sont parfois constitués d'un seuil amovible composé de planchettes qui permettent de réguler le niveau de la retenue sous la cote de RN.

4.4.1.4. Siphonage [6]

Si l'ouvrage n'est équipé d'aucun dispositif de vidange (ou d'autres organes hydrauliques) ou bien si son utilisation est impossible ou dangereuse, la retenue peut être vidangée totalement ou partiellement par la technique de siphonage (cf. figure 16).

Cette méthode consiste à faire transvaser l'eau de la retenue vers l'aval par gravité au moyen d'un tuyau souple (par exemple : caoutchouc, plastique) ou rigide (par exemple : métal, PVC) positionné sur le remblai. L'orifice d'entrée du tuyau est positionné dans la retenue et l'orifice de sortie en aval du remblai en-dessous du niveau où l'on prélève l'eau. La différence de cotes entre le point haut du siphon et la cote de la retenue ne peut excéder 6 à 7 mètres sous risque de cavitation (la hauteur d sur la figure 17).

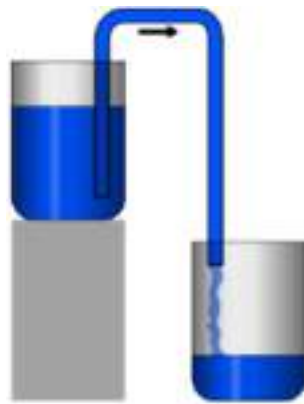


Figure 10 : Principe général de fonctionnement d'un siphon (Source : Wikipedia)

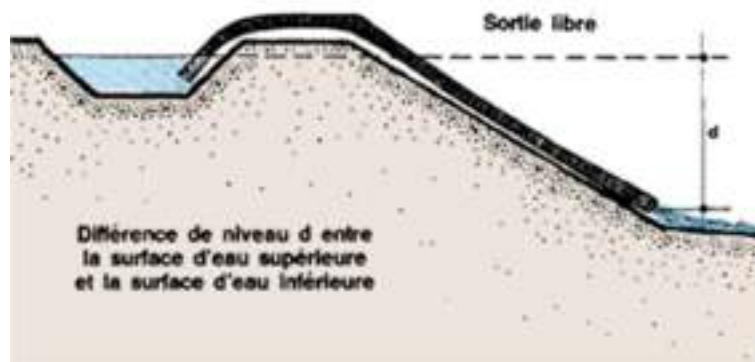


Figure 11 : Schéma de principe d'un siphon dans une retenue (Source : FAO)

Le principe d'amorçage du siphon peut être réalisé par deux techniques :

- par remplissage de l'orifice d'entrée du siphon dans la retenue avant sa mise en place :
 - o étape 1 : positionner l'extrémité de prise du siphon au-dessus de la crête en position verticale ;
 - o étape 2 : remplir d'eau le siphon par l'extrémité de prise et lorsque celui-ci est plein, le boucher ;

- étape 3 : abaisser lentement l'extrémité de prise du siphon dans l'eau de la retenue tout en la maintenant bouchée ;
 - étape 4 : déboucher l'extrémité de sortie du siphon ;
 - étape 5 : déboucher l'extrémité de prise du siphon dans l'eau. L'eau doit ainsi commencer à couler dans le siphon ;
 - étape 6 : pendant que l'eau continue à s'écouler en aval sans interruption et que le niveau baisse, veiller à ce que l'extrémité de prise du siphon plongée dans la retenue reste bien sous l'eau et que l'extrémité de sortie soit maintenue en-dessous du niveau de l'eau de la retenue ;
- par aspiration de l'eau depuis l'orifice de sortie du siphon en aval du barrage, au moyen d'un dispositif de pompage.

Une disposition technique est à prendre en considération pour garantir la sécurité du barrage. Il convient de positionner l'extrémité de sortie du siphon en aval du barrage si possible dans le lit du cours d'eau au pied aval pour éviter tout risque d'affouillement du pied aval.

Le débit (m³/s) d'un dispositif de siphon peut être estimé avec la formule suivante⁸ :

$$Q = S \times \sqrt{9,81 \times H}$$

Avec :

- S : la section du tuyau (m²) ;
- H : la différence de charge entre le niveau de la retenue et la sortie aval du tuyau (m).

4.4.1.5. *Pompage*

Si l'ouvrage n'est équipé d'aucun dispositif de vidange (ou d'autres organes hydrauliques) ou bien si son utilisation est impossible ou dangereuse, et si la technique de siphonage ne peut être mise en place ou est insuffisante, la retenue peut être vidangée totalement ou partiellement par la technique de pompage.

Cette méthode consiste à mettre en place une ou plusieurs pompe(s) (par exemple : motopompe, autopompe) en crête du barrage ou bien sur la retenue (pompe flottante) comprenant un tuyau avec un orifice de prise de l'eau de la retenue et un tuyau avec un orifice de sortie positionné en aval du barrage (vers le cours d'eau en aval). Les dispositifs de pompage sont disponibles auprès des acteurs de la Sécurité Civile et de la Protection Civile.

4.4.1.6. *Création d'un déversoir d'urgence*

Si l'ouvrage n'est équipé d'aucun dispositif de vidange (ou d'autres organes hydrauliques) ou bien si son utilisation est impossible ou dangereuse, et si les techniques de siphonage et de pompage ne peuvent être mises en place ou sont insuffisantes, une solution d'ultime recours consiste à créer un déversoir d'urgence.

Cette solution peut s'avérer très risquée dans le sens où elle peut potentiellement engendrer plus de dommages que la rupture d'un ouvrage en remblai de taille modeste, dont la cinétique est plutôt lente. Il est donc important de garder à l'esprit que cette option ne doit être envisagée que lorsqu'aucune autre option n'est possible pour empêcher la surverse et lorsque les conditions de sécurité sont réunies pour la réalisation du déversoir.

Ce déversoir d'urgence est généralement réalisé sur le barrage lui-même, mais il est parfois possible de faire une connexion plus en amont dans la retenue vers le cours d'eau (ou un fossé) qui dévie et longe le plan d'eau. Cette

⁸ Notons que cette formule donne une valeur par excès et ne reste valable que pour des vitesses faibles (de l'ordre de quelques mètres par seconde) sans prendre en compte les pertes de charges linéaires et le coefficient de débit.

solution variante diminue souvent le risque d'érosion externe et de non maîtrise de l'ouverture intempestive d'une brèche plus importante que prévue.

L'opération consistant à terrasser une brèche sur le remblai avec une pelle mécanique comprend les phases suivantes :

- vérifier qu'il n'y a pas de réseau (AEP, assainissement, gaz, EDF, téléphone, fibre, etc.) qui passe dans le remblai au droit de l'ouverture prévue ;
- terrasser le chenal d'évacuation sur le parement aval, depuis l'aval vers le seuil de la brèche (en s'assurant de sa résistance au mécanisme d'érosion externe) ;
- terrasser la brèche au niveau où l'on souhaite évacuer la retenue.

Toutefois, il s'agit d'une opération délicate et plusieurs dispositions sont à prendre en considération pour garantir la sécurité du barrage et des personnes présentes sur le barrage ou à proximité :

- dispositions géométriques : les parois latérales de la brèche doivent être talutées en pente douce (a minima un fruit de 2H/1V) ;
- la conception : il est préférable de créer la brèche à une extrémité du remblai ou bien à un point bas de la crête et d'aménager un chenal d'évacuation des eaux vers le lit du cours d'eau en aval ;
- protection contre l'érosion externe : le déversoir d'urgence (comprenant le seuil et le chenal d'évacuation) doit être protégé contre le mécanisme d'érosion externe provoqué par sa mise en charge (par exemple : mise en place d'une géomembrane ou d'un géotextile de protection contre l'érosion, renforcement avec des enrochements, etc.).

4.4.1.7. *Synthèse des actions à mener pour la vidange d'urgence*

Le logigramme présenté ci-dessous (cf. figure 18) synthétise la hiérarchisation des techniques à mettre en œuvre pour la vidange d'urgence (complète ou partielle) de la retenue. Les indications dans les cases blanches sont les conditions de passage à un autre procédé. Par exemple, si l'organe de vidange n'est pas opérationnel ou s'il est absent ou si son utilisation est dangereuse alors un ou plusieurs autres organes hydrauliques sont sollicités.

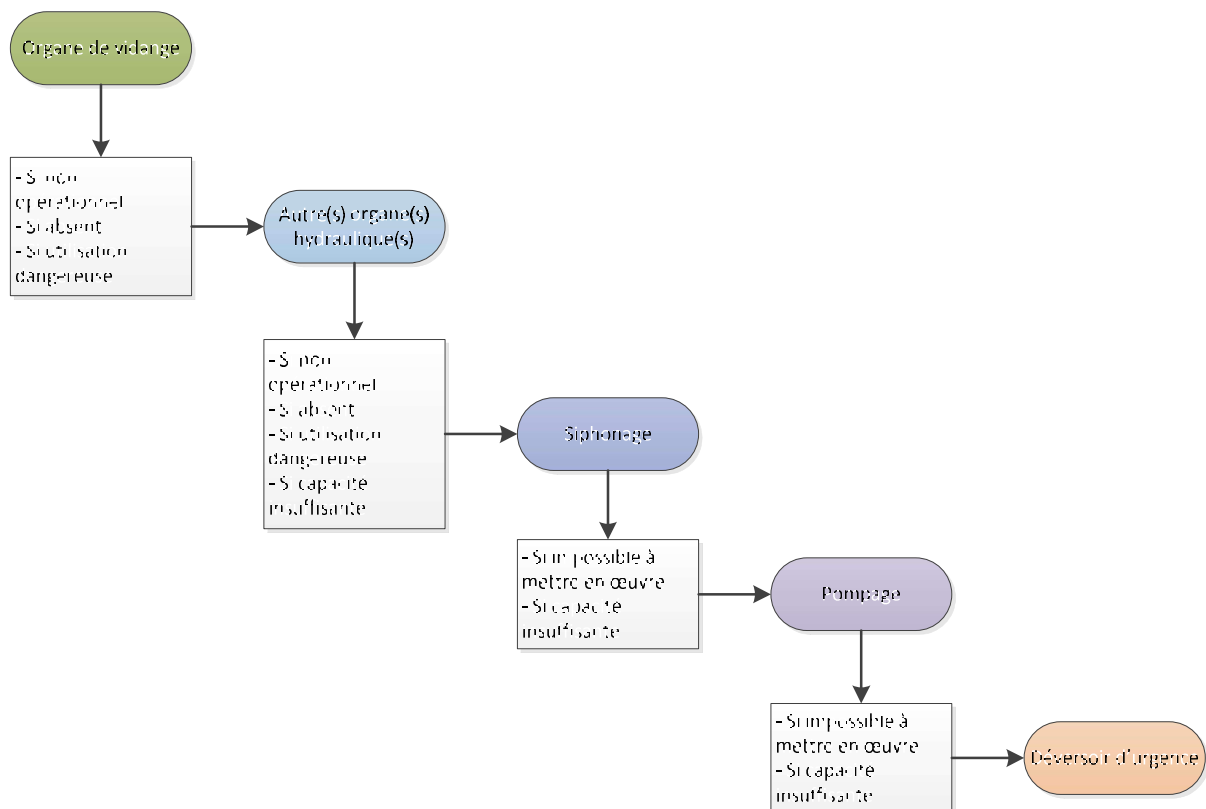


Figure 12 : Hiérarchisation des actions à mettre en œuvre pour la vidange de la retenue

4.4.2. VIDANGE D'URGENCE EN CAS DE SURVERSE

En condition d'exploitation en crue avec surverse ou risque de surverse imminent, des dispositions complémentaires sont à prendre en considération pour la mise en œuvre des actions de vidange présentées dans le paragraphe précédent afin de garantir la sécurité des personnes présentes sur l'ouvrage :

- ouverture de l'organe de vidange : l'utilisation de l'organe de vidange est à proscrire si son accès et son dispositif de manœuvre sont sous l'eau ;
- ouverture d'un autre organe (prise d'eau, restitution, moine, évacuateur de crues) : l'utilisation d'un autre organe est à proscrire si son accès et son dispositif de manœuvre sont sous l'eau ;
- siphon : la mise en place d'un siphon est à proscrire puisque les conditions de sécurité sont trop dangereuses pour les opérateurs et la capacité d'évacuation risque d'être trop faible face à la montée du plan d'eau ;
- pompage : l'utilisation d'un dispositif de pompage est à proscrire puisque les conditions de sécurité sont trop dangereuses pour les opérateurs et la capacité d'évacuation risque d'être trop faible face à la montée du plan d'eau ;
- déversoir d'urgence : la création d'un déversoir d'urgence par le terrassement d'une brèche dans le remblai est généralement impossible puisque les conditions de sécurité sont trop dangereuses pour les opérateurs et la structure du barrage (risque d'accélérer le mécanisme de rupture du barrage par érosion externe).

4.4.3. RECENSEMENT DES ENJEUX EN AVAL [18] [20]

4.4.3.1. Enjeux humains

Les enjeux humains en aval du barrage comprennent les zones d'habitation et d'activités humaines et les infrastructures de transport. Ces enjeux peuvent être recensés par approches sommaires :

- sur la base de la carte au 1/25 000^{ème} et des photos aériennes (par exemple : Géoportail⁹), on identifie les enjeux existant dans la vallée en aval. En l'absence d'enjeux impactés en aval jusqu'à une zone de confluence avec un cours d'eau plus important, synonyme d'élargissement de la vallée (ou bien si les enjeux se limitent à quelques constructions isolées), on peut considérer qu'il n'est pas nécessaire d'estimer plus précisément la zone submergée ;
- sur la base d'une enquête de terrain en aval du barrage à proximité du cours d'eau.

4.4.3.2. *Installations classées*

Les installations classées comprennent toute exploitation industrielle ou agricole susceptible de créer des risques ou de provoquer des pollutions ou nuisances, notamment pour la sécurité et la santé des riverains. Les installations classées peuvent être recensées par :

- le site Georisques¹⁰ qui présente une carte interactive sur laquelle sont localisées les installations industrielles ;
- le site de l'Inspection des Installations Classées¹¹ qui présente une base de données sur laquelle sont identifiées les installations soumises à autorisation ou à enregistrement (en construction, en fonctionnement ou en cessation d'activité).

4.4.3.3. *Ouvrages en cascade*

Le risque induit par la rupture d'un barrage est augmenté par la présence d'autres barrages en aval. Aussi, il convient de recenser les autres ouvrages présents sur le lit du cours d'eau en aval :

- par croisement du réseau hydrographique (par exemple : la base de données du réseau hydrographique français Carthage¹²) avec la position géographique des plans d'eau qui interceptent le réseau (et qui sont probablement des barrages) ;
- sur la base de la carte au 1/25 000^{ème} et des photos aériennes (par exemple : Géoportail), on identifie les plans d'eau bordés sur au moins un côté par une construction linéaire. Si le niveau de gravité le permet, un travail complémentaire de terrain peut être envisagé de façon à effectuer une reconnaissance des ouvrages hydrauliques situés à l'aval afin d'apprécier leur sensibilité vis-à-vis d'une rupture potentielle du barrage amont.

Si d'autres ouvrages sont présents en aval du barrage et pourraient être affectés par la rupture de l'ouvrage, il convient de prendre les mesures nécessaires (ouverture de vannes) avant de procéder à la vidange du barrage en amont.

4.4.4. MISE EN SECURITE DES ENJEUX EN AVAL [1] [16]

Le gestionnaire doit prévenir les autorités locales (mairie, préfecture) pour les informer de l'événement observé sur le terrain, la condition d'exploitation du barrage (normale ou en crue) et les possibles évolutions.

Ces autorités locales dirigent et coordonnent les opérations de mise en sécurité de la population soumise à un risque de rupture de barrage. Si la commune dispose d'un Plan Communal de Sauvegarde (PCS), elle pourra alors s'appuyer sur la mise en place de cet outil.

4.4.5. VIDANGE PARTIELLE

La vidange partielle du barrage peut être réalisée au moyen de l'ensemble des techniques présentées dans le paragraphe 4.4.1 relatif à la vidange d'urgence, à l'exception de la « réalisation d'un déversoir d'urgence par

⁹ <https://www.geoportail.gouv.fr>

¹⁰ <http://www.georisques.gouv.fr>

¹¹ <http://www.installationsclassees.developpement-durable.gouv.fr>

¹² <http://professionnels.ign.fr/bdcarthage>

création d'une brèche » qui relève de l'ultime urgence et vient déstructurer l'ouvrage. Ce sont pour rappel par ordre hiérarchique :

- ouverture de l'organe de vidange (conduite ou conduit contrôlé par vanne(s)) ;
- ouverture d'un autre organe (prise d'eau, restitution, moine, évacuateur de crues) ;
- siphonage ;
- pompage (autopompe, motopompe).

Les dispositions à prendre en considération pour la mise en œuvre de ces techniques sont les mêmes que celles présentées dans le paragraphe 4.4.1. Concernant l'usage d'un organe vanné, il convient de s'assurer que sa manœuvre est opérationnelle tant pour l'ouverture que pour la fermeture, et ce pour éviter tout risque de vidange complète de la retenue induite par un éventuel blocage d'une vanne lors de la fermeture. C'est pourquoi, avant toute opération de vidange par ouverture d'organe vanné, il est conseillé de réaliser un test de décollement de la vanne (légère ouverture) pour vérifier son bon fonctionnement (même si le risque de non fermeture en situation d'incident apparait comme étant un moindre mal).

4.4.6. SURVEILLANCE RENFORCEE [17]

En période de crise pouvant engendrer une situation d'incident, la surveillance d'un ouvrage est une action capitale qui va permettre d'orienter les choix quant aux interventions à mener afin de sécuriser l'ouvrage et les enjeux à son aval. Ces choix vont directement dépendre des observations visuelles et aux mesures réalisées sur le barrage.

4.4.6.1. Principes généraux de la surveillance

La surveillance d'un barrage a pour but de connaître, et si possible de prévenir, toute dégradation afin de le conserver en bon état de sécurité. C'est-à-dire détecter les anomalies et désordres dues à des mécanismes de vieillissement du barrage ou des phénomènes naturels (crue, séisme), et évaluer leurs éventuelles évolutions.

La surveillance d'un barrage doit être renforcée lorsque des anomalies ou désordres sont constatées ou bien lors de l'occurrence de crues ou de séismes. **Aussi, la périodicité de la surveillance est donnée à titre indicatif et reste à adapter en fonction du niveau de gravité évalué sur le terrain :**

- niveau de gravité 1 (rupture probable à très court terme) : présence quasi-continue sur le site ;
- niveau de gravité 2 (rupture possible à court terme et / ou probable à moyen terme) : fréquence bihebdomadaire à hebdomadaire (pour ce niveau de gravité « intermédiaire » la périodicité peut être très différente selon le cas d'espèce et l'évolution de la situation) ;
- niveau de gravité 3 (rupture possible à moyen terme) : fréquence hebdomadaire à bimensuelle.

La périodicité de la surveillance peut être revue en fonction de l'évolution des symptômes observés :

- plus fréquente, si l'on observe une évolution négative d'un symptôme (par exemple : augmentation d'un débit de fuite, extension d'une déformation, etc.) ;
- moins fréquente, si l'on observe une stagnation dans l'évolution d'un symptôme.

4.4.6.2. Points spécifiques à surveiller en cas de situation d'incident hors crue

Lors d'une situation d'incident hors période de crue, la surveillance visuelle sur les barrages en remblai concerne les points spécifiques suivants :

- 1) la surveillance de l'évolution des symptômes principaux observés en situation d'incident (cf. Tableau 4 au §4.3) :
 - fuite : évolution des débits de fuites, présence de dépôts solides ;
 - zone humide : évolution de la surface de la zone humide, évolution du débit de sortie ;

- fissuration, bourrelet, fontis, glissement : évolution de la zone, extension d'une fissuration ;
- niveau de la retenue : évolution du niveau (montée, descente).

2) la surveillance de l'apparition de symptômes secondaires (cf. Tableau 4 au §4.3).

Dans le cas des situations d'incident « moyennement critique » (classe B) et « faiblement critique » (classe C), il est recommandé de suivre l'évolution des symptômes (primaires et secondaires) avec la mise en place de :

- un piquetage de la zone pour la matérialiser ;
- un suivi photographique régulier ;
- si possible, la mesure des débits de fuites par l'installation d'un système de captage.

4.4.6.3. *Points spécifiques à surveiller en cas de situation d'incident en crue*

En condition d'exploitation en crue, la surveillance du barrage n'est pas toujours possible si la crue survient de nuit et/ou si le barrage surverse. Lorsqu'elle est possible, elle porte sur les points suivants :

- le niveau maximum atteint par la retenue ;
- la durée de la crue ;
- la présence de corps flottants et de vagues ;
- le fonctionnement du déversoir.

Après la survenance d'une crue, il est recommandé de mener une visite de surveillance sur le barrage. Elle porte sur les points suivants :

- les relevés d'indices permettant de connaître le niveau maximum atteint par l'eau (par exemple : dépôts de branchages et brindilles, etc.) ;
- la vérification s'il y a eu surverse (ou non) sur le couronnement du barrage (par exemple : présence de végétation couchée, d'affouillements, de poissons morts, etc.) ;
- l'état du déversoir et de la fosse de dissipation d'énergie (par exemple : érosion régressive, contournement de bajoyers, fondations sous-cavées, mouvements des structures) ;
- l'observation de l'état du parement amont et de sa protection dans la zone de batillage ;
- le creusement de ravines par ruissellement sur les talus (en particulier le talus aval) ;
- l'apparition de nouvelles zones de fuites, augmentation sensible ou extension des fuites préexistantes (en mesurer les débits si possible).

4.4.6.4. *Points spécifiques à surveiller après un séisme*

Après l'occurrence d'un séisme à proximité du barrage, il est recommandé de mener une visite de surveillance sur le barrage, elle porte sur les points suivants :

- surveiller l'apparition de l'un des symptômes présentés dans le Tableau 4 au §4.3 ;
- surveiller l'apparition de fissures sur les organes rigides en béton ou maçonnerie : évacuateur de crues, etc. ;
- vérifier que les organes vannés (vidange, prise d'eau, soutien d'étiage) fonctionnent correctement sur toute leur plage de manœuvre.

4.4.7. DIAGNOSTIC PAR BUREAU D'ETUDES ET TRAVAUX DE CONFORTEMENT [7] [8]

Le diagnostic du barrage doit conclure sur le niveau de sûreté du barrage et sur la nécessité (ou pas) de le conforter, et le cas échéant, décrire le type de confortement envisageable. Le diagnostic est produit par un bureau d'études et comporte :

- une visite détaillée du barrage, à l'instar des visites techniques approfondies ;
- un diagnostic de la pathologie et des mécanismes en cours de développement, ainsi qu'une étude des mesures de remédiation à mettre en œuvre (travaux d'urgence, travaux de confortement, surveillance, études complémentaires, etc.) ;
- si nécessaire, des reconnaissances géophysiques, géotechniques et des essais de laboratoire, ainsi que la mise en place ou le renforcement du dispositif d'auscultation ;
- si nécessaire, une étude de vérification de la capacité d'évacuation des organes hydrauliques et de la stabilité du remblai, suivant les recommandations du CFBR [2][3] ;
- si nécessaire, le calcul de l'onde de rupture du barrage.

4.5. SYNTHESE DE LA DEMARCHE

L'arbre d'aide à la décision présenté ci-dessous (cf. figure 19) affiche une synthèse de la démarche à entreprendre pour l'analyse et la gestion des situations d'incident sur des petits barrages en remblai.

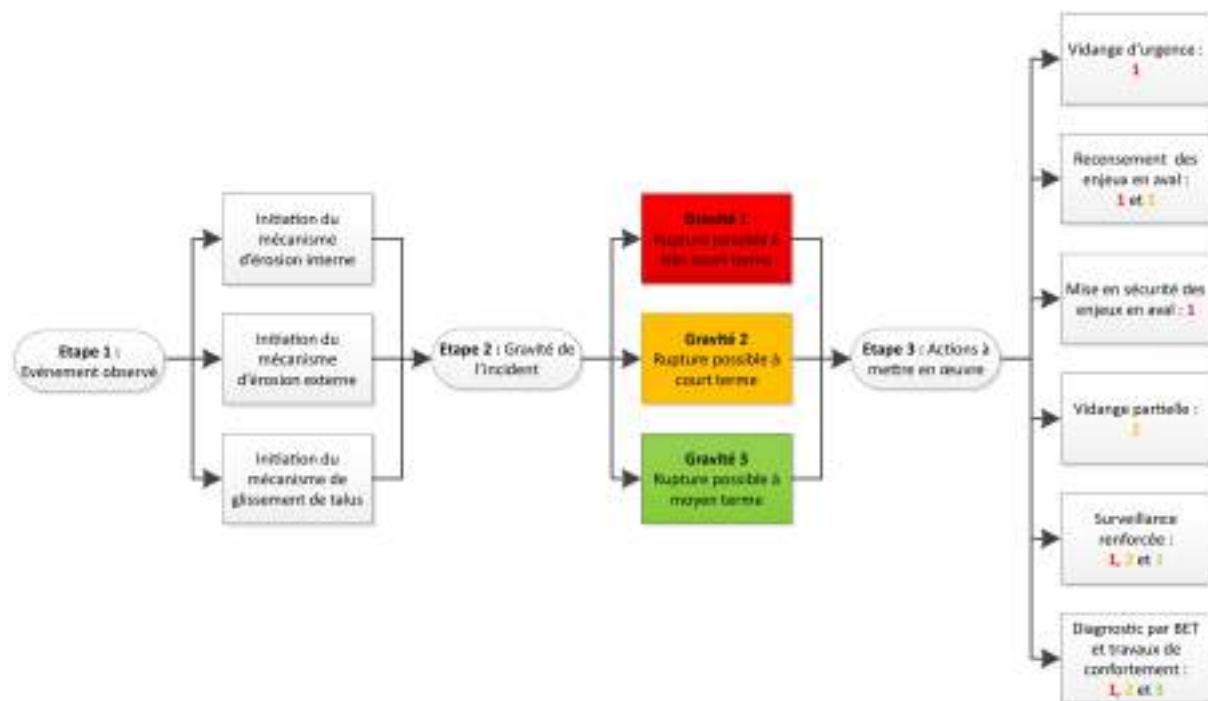


Figure 13 : Arbre d'aide à la décision conceptuel pour l'analyse et la gestion des situations d'incident sur les petits barrages en remblai

Deux fiches opérationnelles sont disponibles en Annexe 5. Ces fiches synthétisent la démarche à suivre en situations d'incident et font référence aux paragraphes spécifiques du présent chapitre, à consulter le cas échéant.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

OUVRAGES

- [1] Carol C. et Lancino G., 2013, Guide ORSEC – Alerte et information des populations – Tome G.4, Direction Générale de la Sécurité Civile et de la Gestion des Crises, 88 p.
- [2] CFBR, Juin 2013, Recommandations pour le dimensionnement des évacuateurs de crues de barrages, 325 pages.
- [3] CFBR, Octobre 2015, Recommandations pour le dimensionnement des barrages et des digues en remblai, 260 pages.
- [4] CFBR, 2017, Bulletin n°2 : Les défaillances mécaniques des vannes de barrages, Groupe de travail « Accidentologie et incidentologie des barrages », 10 p.
- [5] Chevalier C. et Bonelli S., 2017, Guide ERINOH : volume 1 – Méthodologie de caractérisation expérimentale, IREX, 234 p.
- [6] Coche A.G et Muir J.F., 1994, Pisciculture continentale : les étangs et leurs ouvrages, ouvrages et agencement des fermes piscicoles, Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), 214 p.
- [7] Degoutte G., 1992, Guide pour le diagnostic rapide des barrages anciens – Etudes hydraulique agricole n°13, Cemagref, 99 p.
- [8] Degoutte G. et al., Cours conception des barrages, INRAE, 322 p.
- [9] Deroo L. et Fry J.J., 2013, Recommandations ERINOH (volume 3) : maîtrise de l'érosion interne, Colloque « Digue Maritimes et Fluviales de Protection contre les Submersions », INRAE et CFBR, Aix-en-Provence, 10 p.
- [10] Le Coze J.C., Lim S. et Dechy N., 2006, Gestion des presque accidents et accidents majeurs : premier bilan d'une enquête sur des sites SEVESO, INERIS, 9 p.
- [11] Le Delliou P. et al., 2013, Groupe de travail « Gestion de crise » - Proposition pour le rôle et l'organisation des SCSOH, BETCGB (nouvellement PoNSOH), 32 p.
- [12] Legifrance, 2010, 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
- [13] Legifrance, 2015, Décret n° 2015-526 du 12 mai 2015 relatif aux règles applicables aux ouvrages construits ou aménagés en vue de prévenir les inondations et aux règles de sûreté des ouvrages hydrauliques
- [14] Legifrance, 2017, Arrêté du 15 novembre 2017 précisant les catégories et les critères des agréments des organismes intervenant pour la sécurité des ouvrages hydrauliques ainsi que l'organisation administrative de leur délivrance
- [15] MEDDE-DGPR, Octobre 2014, Risque sismiques et sécurité des ouvrages hydrauliques, 316 p.
- [16] Philip E. et Belin P., 2008, Plan Communal de Sauvegarde – S'organiser pour être prêt – La démarche, IRMa et DSC, 39 p.
- [17] Royet P., 2006, La surveillance et l'entretien des petits barrages, Cemagref, 78 p.
- [18] Royet P., Degoutte P. et Mériaux P., 2009, Méthodologie pour le recensement d'un parc de nombreux petits barrages et d'établissement d'un ordre de priorité en vue de leur classement, Cemagref, 19 p.

SITES INTERNET

[19] Site internet de la base ARIA (Analyse, Recherche et Information sur les Accidents) :

<http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/>

[20] Site internet national de l'inspection des installations classées, Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire :

<http://www.installationsclassees.developpement-durable.gouv.fr/>

[21] Site internet de la prévention du risque sismique :

<http://www.planseisme.fr/Zonage-sismique-de-la-France.html>

ANNEXES

ANNEXE 1 : LES EVENEMENTS IMPORTANTS POUR LA SECURITE HYDRAULIQUE (EISH)

Les différents événements (incidents ou accidents) qui surviennent sur des ouvrages hydrauliques doivent être consignés auprès des SCSOH sous forme de fiches EISH (Événement Important pour la Sûreté Hydraulique). La déclaration des EISH présente une échelle de gravité à trois niveaux pour caractériser les conséquences de l'événement : accident majeur, incident avec gravité et incident sans gravité. Cette section présente les différentes caractéristiques de chacun des niveaux.

1. ACCIDENT MAJEUR – **EISH DE COULEUR ROUGE**

1.1 Définition [20]

Dans le domaine des barrages, un accident majeur peut se définir comme « un événement résultant d'une rupture partielle ou totale de l'ouvrage, d'un phénomène gravitaire rapide affectant la retenue, d'un dysfonctionnement d'un de ses organes ou d'une manœuvre d'exploitation, entraînant pour la santé humaine et l'environnement, à l'aval ou à l'amont de l'ouvrage, un danger grave, immédiat ou différé ».

1.2 Classification EISH [12]

Ce type d'événement peut être assimilé à un EISH de couleur rouge, défini également comme un « accident ». Il concerne les événements à caractère hydraulique ayant entraîné :

- soit des décès ou des blessures graves aux personnes ;
- soit des dégâts majeurs aux biens ou aux ouvrages hydrauliques.

2. INCIDENT AVEC GRAVITE – **EISH DE COULEUR ORANGE**

2.1 Définition [10]

Un incident peut se définir comme « un événement sans conséquence matérielle grave immédiate mais susceptible d'entraîner de graves conséquences ».

Malgré le contrôle de la sécurité des barrages, des incidents plus ou moins graves sont couramment recensés auprès des SCSOH. L'origine de ces incidents peut avoir des causes multiples :

- erreurs de conception ou de réalisation ;
- vieillissement naturel des ouvrages sous l'effet des contraintes extérieures ;
- maintenance inadéquate ou insuffisante de l'exploitant ;
- utilisation imprévue ;
- occurrence d'événements naturels extrêmes (crue, séisme) ;
- actions humaines inappropriées ou malveillantes.

Certains incidents revêtent une criticité importante, notamment en termes de gravité des conséquences : on peut les qualifier de « presque accidents » ou d'« incidents avec gravité » (nous retiendrons ce dernier terme dans la suite pour être cohérent avec l'échelle des EISH).

La littérature propose diverses définitions pour caractériser cette notion utilisée à l'origine dans le secteur de l'industrie. On peut retenir cette définition : « un presque accident est une séquence accidentelle qui n'a pas

abouti à un accident mais qui aurait pu très bien y aboutir dans d'autres circonstances ». Pour les barrages, il s'agit donc d'une situation où l'ouvrage est proche de la rupture et où la sécurité de la population en aval est mise en danger et donc de risque imminent.

2.2 Classification EISH [12]

Ce type d'événement peut être assimilé à un EISH de couleur orange, défini comme « incident grave ». Il concerne les événements à caractère hydraulique ayant entraîné :

- soit une mise en danger des personnes sans qu'elles aient subi de blessures graves ;
- soit des dégâts importants aux biens ou aux ouvrages hydrauliques.

3. INCIDENT SANS GRAVITE – EISH DE COULEUR JAUNE

3.1 Définition

La définition d'un « incident sans gravité » est la même que celle d'un « incident avec gravité » mais présente un niveau de criticité plus faible.

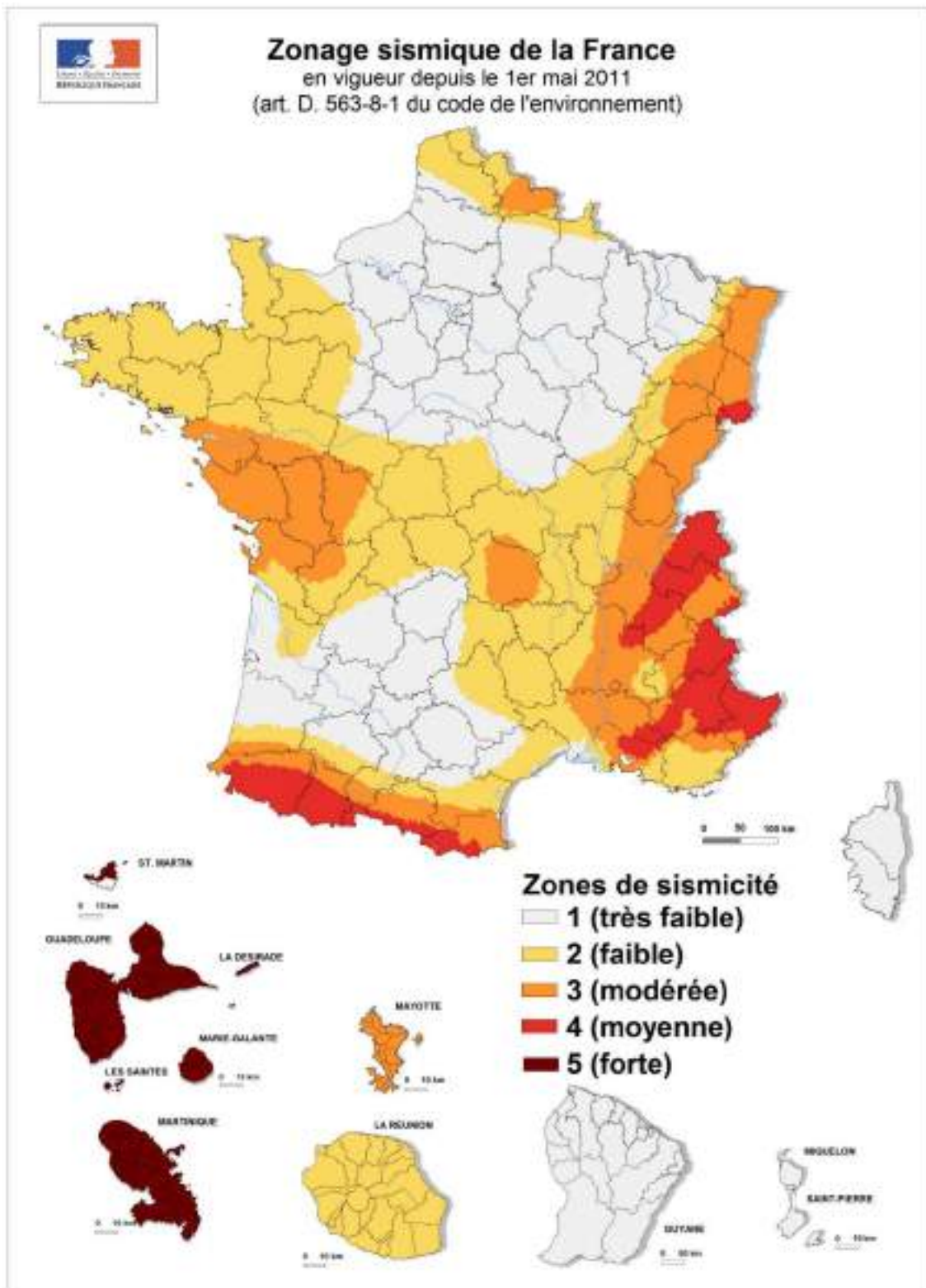
3.2 Classification EISH [12]

Ce type d'événement peut être assimilé à un EISH de couleur jaune, défini comme :

- un événement à caractère hydraulique ayant conduit à une mise en difficulté des personnes ou à des dégâts ;
- un événement traduisant une non-conformité par rapport à un dispositif réglementaire (non-respect de consignes d'exploitation en crues, de débits ou de cotes réglementaires), sans mise en danger des personnes ;
- un défaut de comportement de l'ouvrage ou de ses organes de sûreté imposant une modification de la cote ou des conditions d'exploitation en dehors du référentiel réglementaire d'exploitation de l'ouvrage, sans mise en danger des personnes.

ANNEXE 2 : ZONAGE SISMIQUE DE LA FRANCE (SOURCE : WWW.PLANSEISME.FR)

Le zonage sismique est défini dans le Code de l'Environnement – Articles R.563-1 à R.563-8



ANNEXE 3 : BASE DE DONNEES – LISTE DES BARRAGES CONSIDERES DANS L'ANALYSE

n°	Date	Référence	Type ouvrage	Classe ouvrage	Condition d'exploitation pendant l'événement	Mécanisme de rupture initié	Type d'événement	Symptôme(s) / Précurseur(s) observé(s)	Action(s) mise(s) en œuvre
1	2014	Rapports AT 2015 et 2017	Remblai	B	Normale	Erosion interne	Incident sans gravité	Fuites	Vidange partielle (ouverture vanne)
2	2009	Rapport AT 2017	Remblai	B	Normale	Erosion interne	Incident sans gravité	Fuites	Vidange partielle (ouverture vanne)
3	2014	Rapport AT 2017	Remblai	C	Normale	Erosion interne	Incident sans gravité	Fuites	Vidange totale (ouverture vanne)
4	2016	Rapport AT 2016	Remblai	C	Crise	Erosion externe	Accident majeur	Brèche	
5	2016	Rapport AT 2016	Remblai	C	Crise	Erosion externe	Accident majeur	Brèche	
6	2016	Rapport AT 2016	Remblai	C	Crise	Erosion externe	Accident majeur	Brèche	
7	2016	Rapport AT 2016	Remblai	C	Crise	Erosion externe	Accident majeur	Brèche	
8	2016	Rapport AT 2016	Remblai	C	Crise	Erosion externe	Accident majeur	Brèche	
9	2016	Rapport AT 2016	Remblai	C	Crise	Erosion interne Erosion externe	Accident majeur	Brèche	Travaux de réparation
10	2016	Rapport AT 2016	Voûte	A	Normale	Rupture vanne	Incident avec gravité	Fissuration	Vidange complète (ouverture vanne)
11	2015	Rapport AT 2016	Remblai	C	Normale	Glisement paroiement amont	Incident avec gravité	Effondrement	Vidange partielle (pompage) Vidange totale (création brèche)
12	2015	Rapport AT 2015	Remblai	B	Crise	Erosion interne	Accident majeur	Brèche	Chenal dérivation interne
13	2012	Rapport AT 2012	Remblai	Non classé	Normale	Glisement paroiement aval	Incident avec gravité	Effondrement	Vidange partielle (création Vidange totale)
14	2006 et 2011	Rapport AT 2012	Remblai	B	Crise	Erosion interne	Incident sans gravité	Fuites	Vidange totale (ouverture vanne)
15	2011	Rapport AT 2011	Remblai	C	Normale	Glisement	Incident avec gravité	Effondrement	Vidange partielle (ouverture vanne)
16	2011	Rapport AT 2011	Remblai	Non classé	Crise	Erosion externe	Incident sans gravité	Surverse (sans dégradation majeure)	Vidange totale (ouverture vanne)
17	2016	ARIA (45061)	Remblai	C	Normale	Erosion interne	Incident sans gravité	Fuites	Vidange partielle (ouverture vanne)
18	2016	ARIA (48440)	Remblai	Non classé	Normale	Erosion interne	Incident avec gravité	Brèche	Vidange partielle
19	2016	ARIA (45060)	Remblai	Non classé	Crise	Erosion externe	Incident sans gravité	Surverse (sans dégradation majeure)	Vidange partielle (pompage)
20	2016	ARIA (45048)	Remblai	Non classé	Crise	Glisement	Incident avec gravité	Effondrement	Tentative de vidange (vanne non fonctionnelle)
21	2016	ARIA (45008)	Remblai	Non classé	Crise	Erosion externe	Accident majeur	Brèche	
22	2014	ARIA (46308)	Remblai	B	Normale	Glisement paroiement aval	Incident avec gravité	Effondrement	Vidange partielle (ouverture vanne)
23	2014	ARIA (46308)	Remblai	B 7		Erosion interne	Incident sans gravité	Fuites	Vidange partielle (ouverture vanne)
24	2014	ARIA (44877)	Remblai	Non classé	Crise	Erosion interne	Incident sans gravité	Fuites	Vidange totale (pompage)
25	2014	ARIA (46128)	Remblai	Non classé	Normale	Erosion interne	Incident sans gravité	Fuites chargées	Vidange partielle (ouverture vanne)
26	2016	Service Inba	Remblai	Non classé	Crise	Erosion externe	Incident sans gravité	Surverse (avec dégradation majeure)	Vidange partielle (ouverture vanne)
27	2017	Service Inba	Remblai	Non classé	Normale	Glisement paroiement aval	Incident sans gravité	Fissuration (en crête)	Vidange totale (ouverture vanne)
28	2006	Rapport AT 2006	Remblai	Non classé	Crise	Erosion interne Erosion externe	Incident avec gravité	Fuites Surverse (avec brèche)	Vidange totale (création brèche)
29	2007	Rapport AT 2007	Remblai	Non classé	Normale	Glisement	Incident sans gravité	Fuites Fissuration élevée	Vidange partielle (ouverture vanne)

n°	Date	Référence	Type ouvrage	Classe ouvrage	Condition d'exploitation pendant l'événement	Mécanisme de rupture initié	Type d'événement	Symptôme(s) / Précurseur(s) observé(s)	Action(s) mise(s) en œuvre
30	2007	Rapport AT 2007	Remblai	Non classé	Normale	Erosion interne	Incident sans gravité	Fuites	Vidange totale (ouverture vanne)
31	2007	Rapport AT 2007	Remblai	C	Normale	Erosion interne	Incident sans gravité	Fuites	Vidange partielle (ouverture vanne)
32	2006	Rapport AT 2006	Remblai	Non classé	Cruel	Erosion interne	Incident avec gravité	Brèche	Vidange totale (création brèche)
33	2008	Rapport AT 2008	Remblai	C	Normale	Rupture conduite	Incident avec gravité	Fuites	Vidange totale (ouverture vanne)
34	2003		Remblai	Non classé	Cruel	Erosion interne	Incident sans gravité	Fuites	Vidange partielle (installation passage basé à fabri d'un batardeau)
35	1999	Rapport AT suite à événement des 12-13/11/99	Remblai	C	Cruel	Erosion externe	Incident avec gravité	Surverse (avec dégradation majeure)	Vidange totale (ouverture vanne)
36	2003	Service Inbta	Poids maçonnés	Ancien C	Cruel	Erosion externe	Accident majeur	Surverse (évacuateur sous-dimensionné) voir si dégâts plan aval	Vidange totale (ouverture vanne) Déconstruction
37	1999	Service Inbta	Remblai	Ancien D	Normale	Erosion externe Erosion interne	Accident majeur	Surverse (voir si dégâts ?), évacuateur sous-dimensionné Barrage non entretenu	Vidange totale (ouverture vanne) Déconstruction
38	2000	Service Inbta	Remblai	C	Normale	Erosion interne Erosion externe	Incident sans gravité	Fuites Fonct.	Abaissement du plan d'eau
39	2008	PV visite 10/2008	Remblai	B	Normale	Erosion externe	Incident sans gravité	Évacuateur obturé (présence grille et stockage embarcation à l'amont)	Retrait des grilles et dégagement des embarcations
40	2014	Rapport AT 2015	Remblai	Non classé	Cruel	Erosion interne	Incident sans gravité	Fixation carapace	Injection des fissures par coule de ciment
41	2017	Service Inbta	Poids béton	C		Erosion externe	Incident sans gravité	Terrassement inopportun dans appui rive gauche	Plan d'alerte
42	2014	Rapport AT 2014	Remblai	Non classé	Normale	Erosion interne	Incident sans gravité	Parement aval basé	Débroussaillage et diagnostic
43	2001	Service Inbta	Remblai	B et C	Cruel	Erosion externe Erosion interne Glissement	Incident sans gravité		Consolidation prise d'eau pour neutraliser bassins
44	2005	Service Inbta	Poids maçonnés	C	Normale	Vidange accidentelle	Incident avec gravité	Impossibilité de refermer vanne	Organisation visite inspection décennale
45	2013	Service Inbta	Remblai	C	Cruel	Erosion interne	Incident avec gravité	Erosion parement aval	Plan d'alerte
46	2004 et 2005	Service Inbta	Remblai	Non classé	Normale	Glissement Rupture vidange	Incident sans gravité	Éffondrement Rupture conduite	Non autorisation à remplir
47	1999		Remblai	Non classé		Glissement Erosion externe		Éffondrement Risque de surverse	Rétrial en urgence d'une conduite et d'un remblai obstruant l'évacuateur
48	2018	Rapport AT 2018	Remblai	B	Cruel	Erosion externe	Incident avec gravité	Débordement de l'évacuateur de trues, érosion régressive le long du batardeau	Vidange partielle (?), travaux de confortement (?)
49	2018	Rapport AT 2018	Remblai	Non classé	Cruel	Erosion externe	Incident avec gravité	Surverse, zones érodées sur le parement aval, parement aval érodé jusqu'à la fondation rocheuse	Dégagement des embâcles et de la passerelle dans l'EMC; diagnostic demandé pour mise en transparence ou confortement

n°	Date	Référence	Type ouvrage	Classe ouvrage	Condition d'exploitation pendant l'événement	Mécanisme de rupture initié	Type d'événement	Symptôme(s) / Précurseur(s) observé(s)	Action(s) mise(s) en œuvre
50	2018	Rapport AT 2018	Remblai	Non classé	Cru	Erosion externe	Incident avec gravité	Surverse, zone d'érosion sur le parement aval	Ouverture d'une brèche pour mise en transparence; expertise demandée par courtier
51	2018	Rapport AT 2018	Remblai	Non classé	Cru	Erosion externe	Incident avec gravité	Surverse, zone d'érosion sur le parement aval	Débroussaillage; abaissement de la retenue; contact BE pour diagnostic de confortement
52	2018	Rapport AT 2018	Poids maçonnés	Non classé	Cru	Erosion externe	Incident sans gravité	Surverse (sans dégâts)	Aucun
53	2018	ESR	Remblai	C	Cru	Erosion externe	Incident avec gravité	Dégradation du bassin de dissipation; obturation de la crépine; dégradation du remblai	
54	2005	Rapport AT	maçonnerie	C	Normale	Erosion interne	Incident sans gravité	Condit traversant	Vidange
55	2012	Rapport AT	Remblai	Non classé	Normale	Erosion interne	Incident avec gravité	fortis - Fuites	Vidange partielle
56	2014	Rapport AT	Remblai	B	Cru	Glissement profond parement aval	Incident sans gravité	Affaissement	Vidange partielle
57	1998 à 2016	Rapport AT	Remblai	C	Normale	6 ou 7 glissements superficiels	Incident sans gravité	Décrochement	Vidange partielle
58	2007	Rapport AT	Remblai	C (classé A)	Cru	Erosion externe	Incident avec gravité	insuffisance EVC	Réparation dégâts à l'aval
59	2017	Rapport AT	Remblai	Non classé	Normale	Erosion interne	Incident sans gravité	Fuites sous radier	Vidange partielle

ANNEXE 4 : RETOUR D'EXPERIENCE : ANALYSE DE LA BASE DE DONNEES

1.1. ECHANTILLON DE BARRAGES

Cette analyse se base sur un échantillon de 59 barrages. Il s'agit principalement de petits barrages en remblai, en classe C ou non classés. La liste descriptive des barrages a été présentée dans l'Annexe 3.

Les graphiques ci-dessous (cf. Figures 1 et 2) présentent la répartition des ouvrages analysés en fonction de leur typologie et de leur classe administrative (telle que définie dans le décret n° 2015-526).

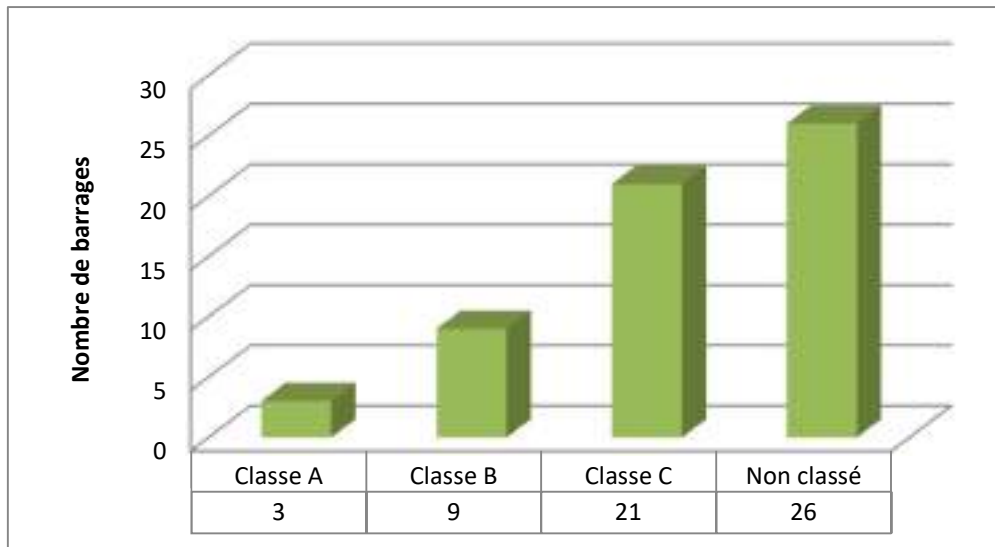


Figure 1 : Répartition des barrages par classe administrative

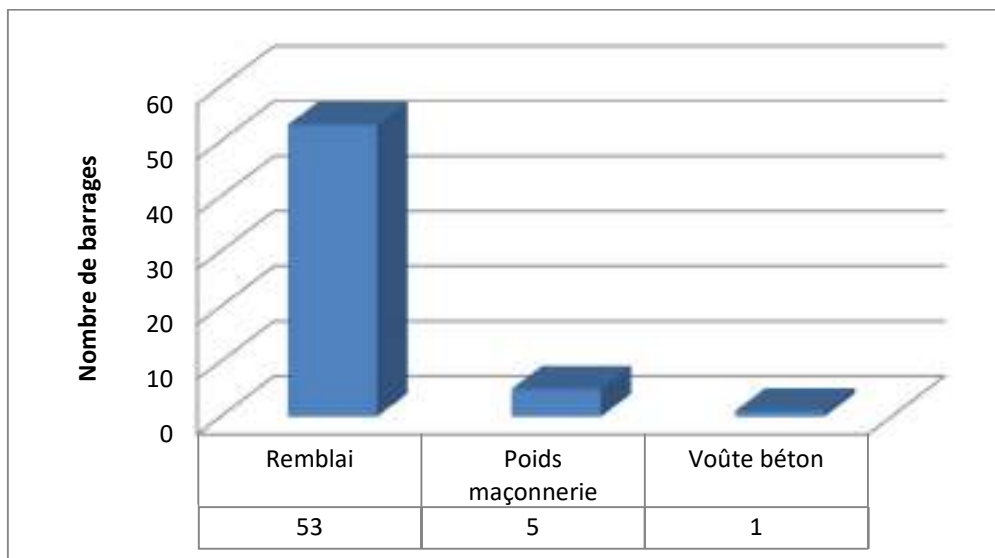


Figure 2 : Répartition des barrages par type d'ouvrage

1.2. LES EVENEMENTS ANALYSES

Les événements survenus sont : des incidents sans gravité (dégradation de l'ouvrage, anomalie du comportement, etc.), des incidents avec gravité (rupture imminente de l'ouvrage), des accidents majeurs (rupture de l'ouvrage). Les mécanismes de rupture identifiés concernent : l'érosion interne (21 cas), l'érosion externe induite par une surverse (24 cas), le glissement de talus (11 cas) et la dégradation de la vantellerie (3 cas).

Les graphiques ci-dessous (cf. Figures 3 et 4) présentent la répartition des événements survenus en fonction de leur niveau de gravité et du mécanisme de rupture identifié.

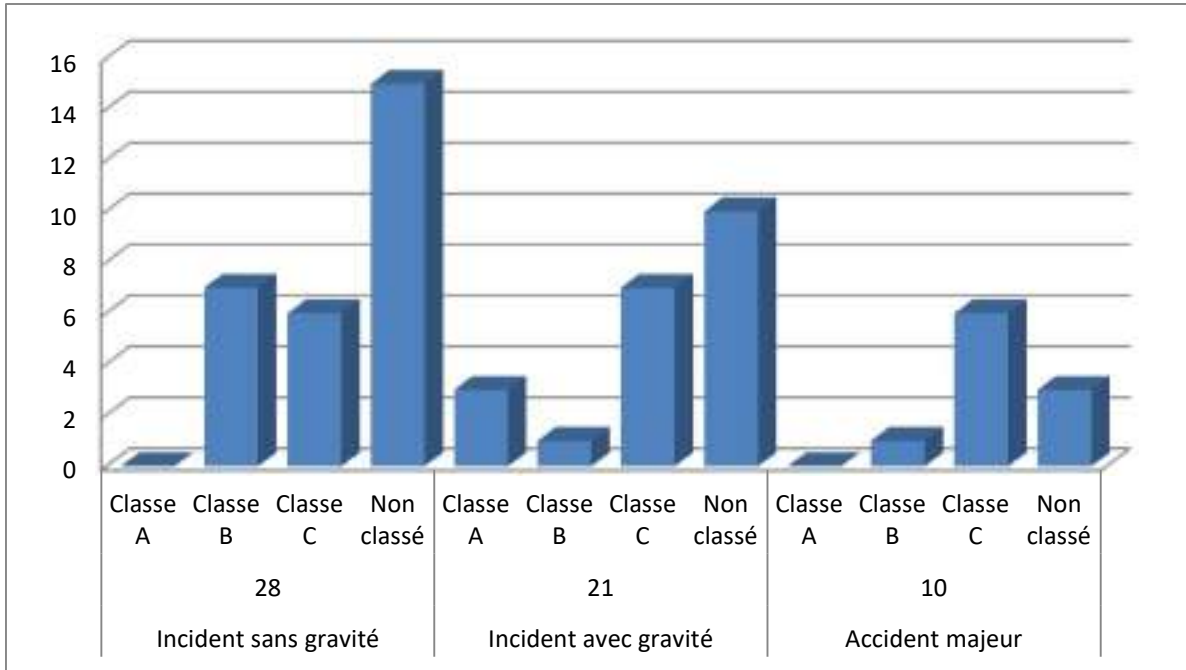


Figure 3 : Répartition des types d'événements survenus en fonction des classes administratives

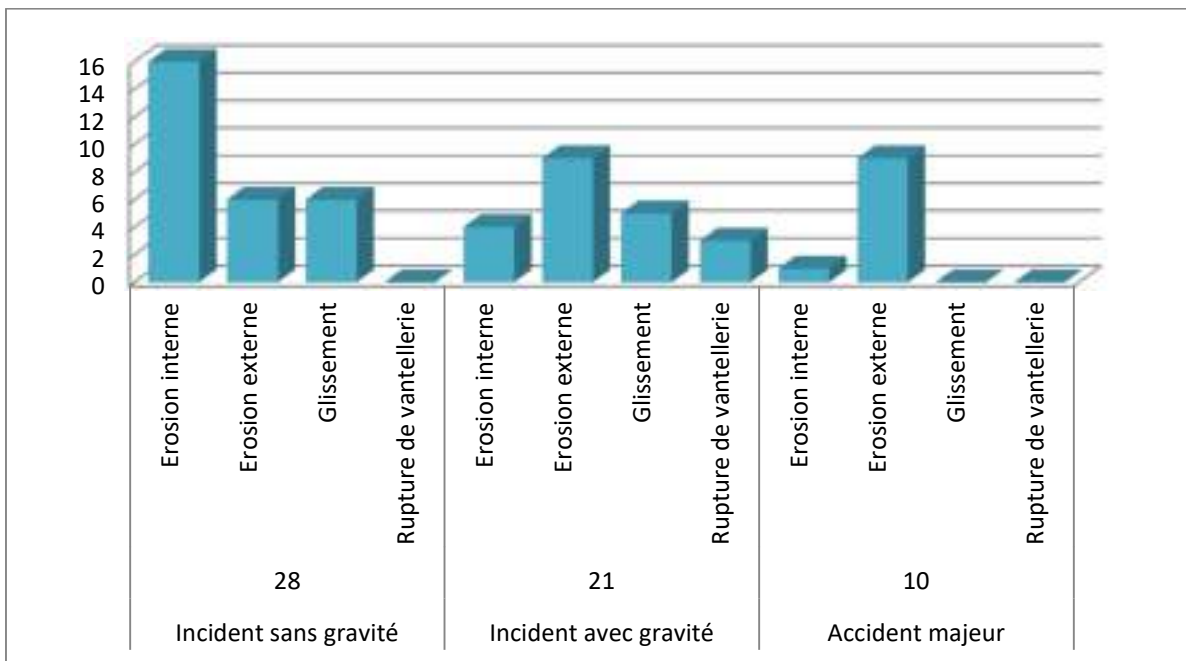


Figure 4 : Répartition des types d'événements survenus en fonction des mécanismes de rupture

Les graphiques des Figures 5 et 6 suivants présentent la répartition des différents modes de rupture en fonction de la classe des barrages et de la gravité des événements.

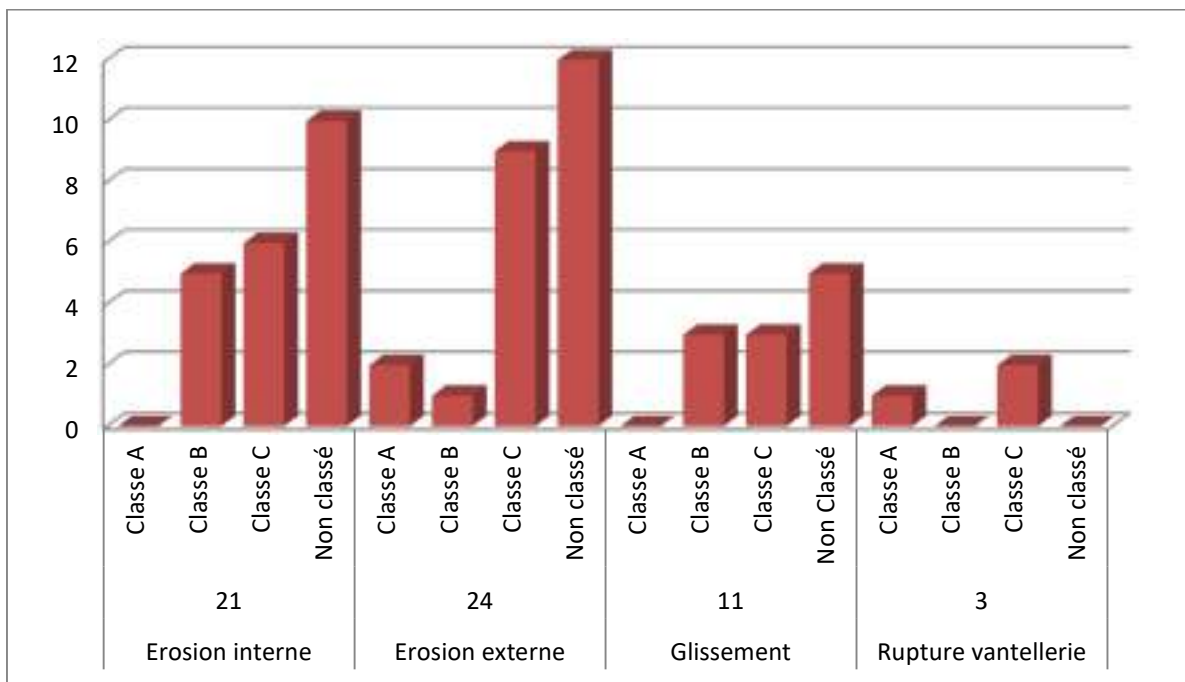


Figure 5 : Répartition des mécanismes de rupture initiés en fonction des classes administratives

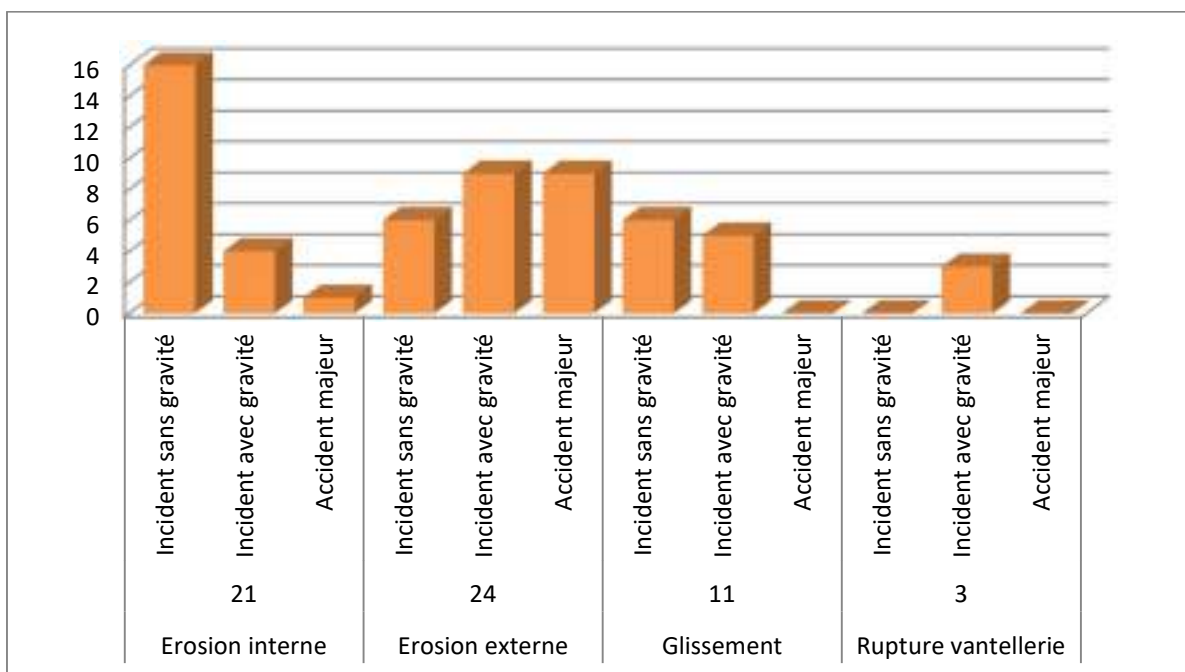


Figure 6 : Répartition des mécanismes de rupture initiés en fonction des types d'événement

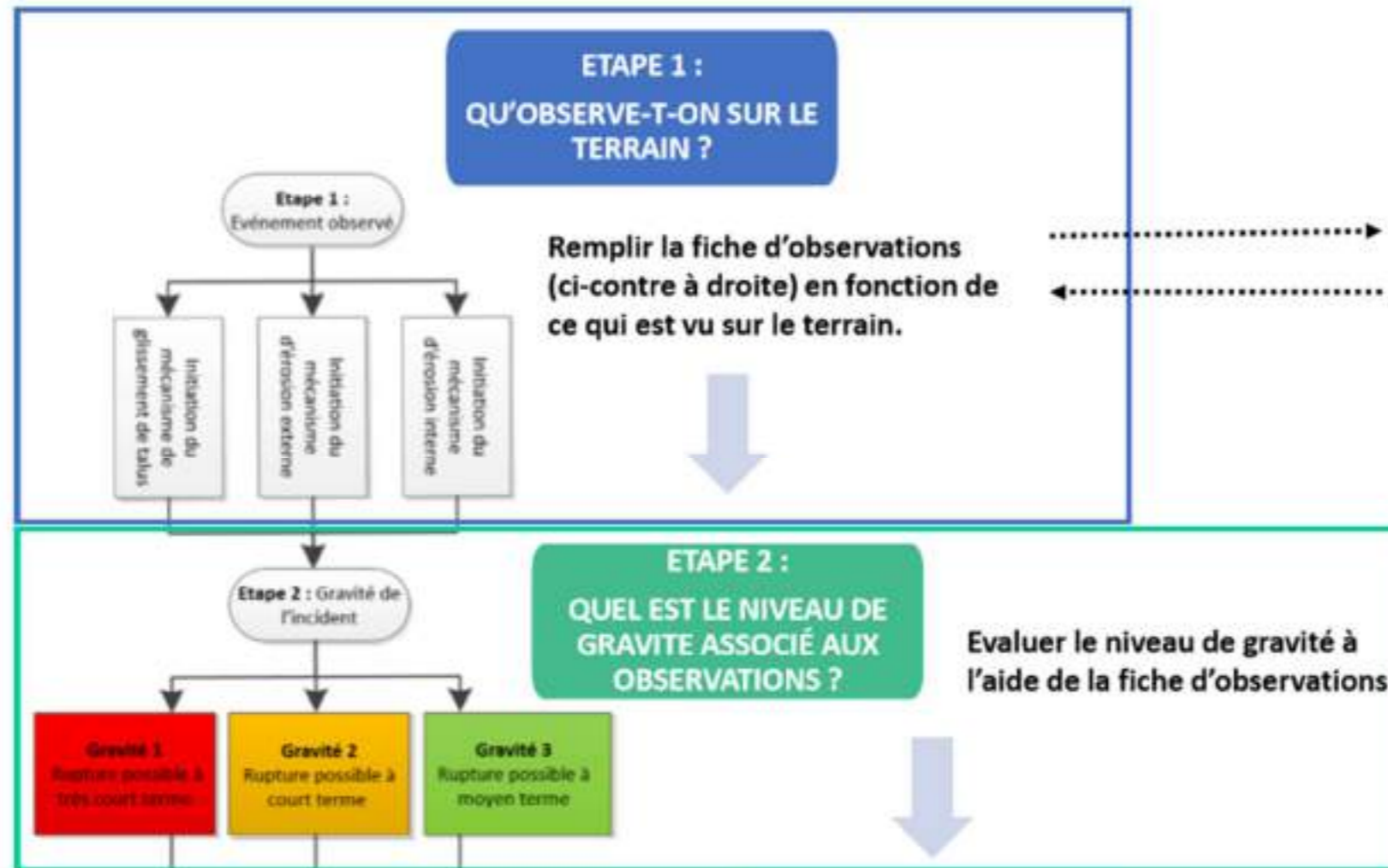
ANNEXE 5 : FICHE D'OBSERVATIONS ET FICHE RECAPITULATIVE DE LA DEMARCHE A APPLIQUER EN SITUATION D'INCIDENT

FICHE N°1 : FICHE D'OBSERVATIONS DE TERRAIN

Mécanisme de rupture	OBSERVATIONS DE TERRAIN				GRAVITE DE L'INCIDENT		
	Symptôme principal	O/N	Symptôme secondaire	O/N	1	2	3
Erosion interne	Vortex à l'amont						
	Fontis		Fontis + Fuite chargée				
			Fontis seul				
	Fuite chargée		Fuite chargée + Fontis				
			Fuite chargée seule*				
	Fuite claire						
	Déformation en crête						
	Zone humide/mouillère		Zone humide avec autre symptôme				
Zone humide seule							
Erosion externe	Surverse		Totale				
			Localisée				
	Retenue à plein bord		Pendant la crue				
			Après la crue				
	Evacuateur de crues absent ou indisponible		Pendant la crue				
			Prévision de crue				
Glissement de talus	Bourrelet au pied aval		Bourrelet seul				
			Saturation / fuite / venue d'eau visible				
	Ondulation de peau sur le parement		Ondulation seule				
			Saturation / fuite / venue d'eau visible				
	Glissement de peau sur le parement		Glissement seul				
			Saturation / fuite / venue d'eau visible				
Fissuration en crête ou sur le parement aval (avec ou sans décrochement)		Fissuration seule					
		Saturation / fuite / venue d'eau visible					

GUIDE « PETITS BARRAGES EN REMBLAI ET SITUATIONS D'INCIDENT »

FICHE RÉCAPITULATIVE DE LA DÉMARCHE À APPLIQUER EN SITUATION D'INCIDENT

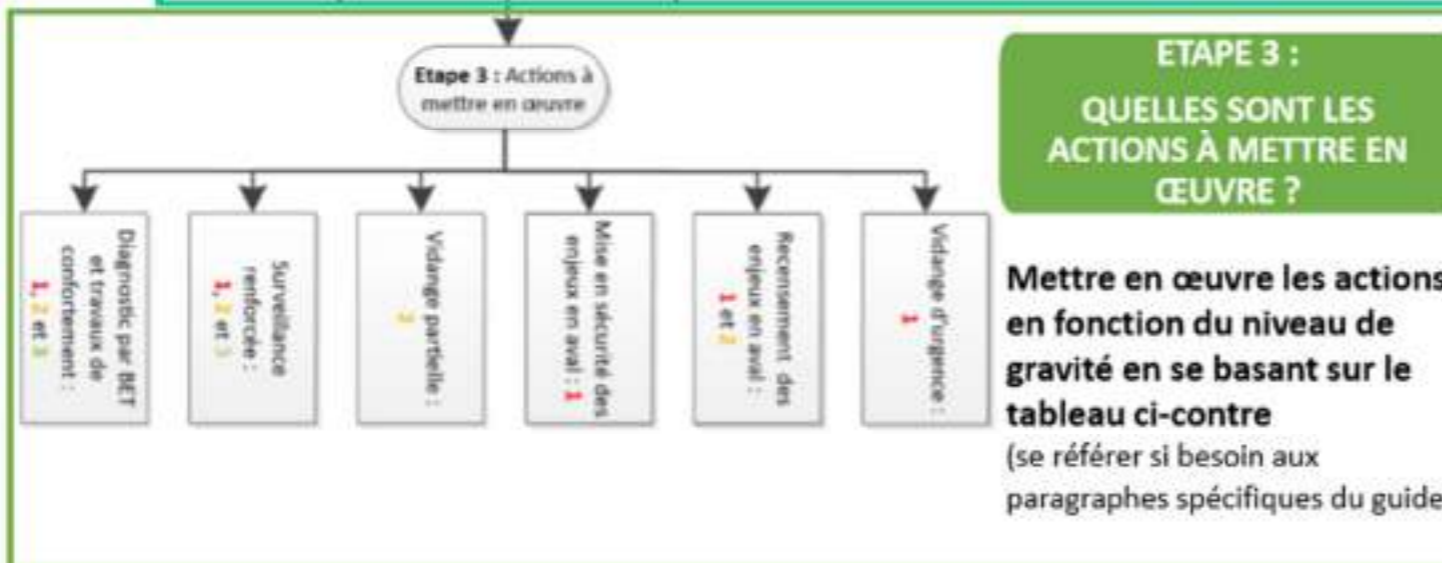


FICHE D'OBSERVATIONS

Mécanisme de rupture	OBSERVATIONS DE TERRAIN		GRAVITE DE L'INCIDENT				
	Symptôme principal	O/N	Symptôme secondaire	O/N	1	2	3
Erosion interne	Vortex à l'amont						
	Fontis		Fontis + Fuite chargée				
			Fontis seul				
	Fuite chargée		Fuite chargée + Fontis				
			Fuite chargée seule*				
	Fuite claire						
Erosion externe	Déformation en crête						
	Zone humide/mouillure		Zone humide avec autre symptôme				
			Zone humide seule				
Glissement de talus	Surverse		Totale				
			Locale				
	Retenue à plein bord		Pendant la crue				
			Après la crue				
Glissement de talus	Evacuateur de crues absent ou indisponible		Pendant la crue				
			Prévision de crue				
	Bourrelet au pied aval		Bourrelet seul				
			Saturation / fuite / venue d'eau visible				
	Ondulation de peau sur le parement		Ondulation seule				
			Saturation / fuite / venue d'eau visible				
Glissement de talus	Glissement de peau sur le parement		Glissement seul				
			Saturation / fuite / venue d'eau visible				
	Fissuration en crête ou sur le parement aval (avec ou sans décrochement)		Fissuration seule				
		Saturation / fuite / venue d'eau visible					

ACTIONS A MENER

Gravité de l'incident	PHASE 1 : ACTIONS A METTRE EN ŒUVRE IMMEDIATEMENT				PHASE 2 : ACTIONS A METTRE EN ŒUVRE DES QUE POSSIBLE	
	Vidange d'urgence		Actions à proposer aux autorités		Vidange partielle	Diagnostic par bureau d'études et travaux de confortement
	Hors cas de surverse (cf. §4.4.1)	En cas de surverse (cf. §4.4.2)	Recensement des enjeux en aval (cf. §4.4.3)	Mise en sécurité des enjeux en aval (cf. §4.4.4)	(cf. §4.4.5)	(cf. §4.4.6)
1						
2						
3						





WP. 3.3.1

Outil de gestion des presque accidents (émergence)

Développement d'outils d'évaluation de la condition et de la conformité aux règles de l'art

Corinne CURT, François CHAPPAZ, Laurent PEYRAS

Septembre 2020

Table des matières

I) Introduction.....	1
II) Principe de la démarche.....	2
A) Indicateurs.....	2
B) Modèles d'agrégation	3
a) Modèles d'agrégation pour l'évaluation de la performance	3
b) Modèles d'agrégation pour la conformité aux règles de l'art.....	4
C) Sources des indicateurs et modèles.....	4
III) Indicateurs et modèles développés pour les barrages avec DEG	5
A) Description générale	5
B) Indicateurs et modèle pour l'évaluation de la fonction de résistance à la surverse	5
C) Indicateurs et modèle utilisé pour l'évaluation de la résistance au glissement	6
D) Indicateurs et modèle pour l'évaluation de la conformité aux règles de l'art des composants impliqués dans la résistance au glissement	7
III) Indicateurs et modèles développés pour les barrages en remblai homogène.....	8
A) Description générale	8
B) Indicateurs et modèle pour l'évaluation de la fonction de résistance à la surverse	8
C) Indicateurs et modèle pour l'évaluation de la performance vis-à-vis de l'érosion interne	9
D) Indicateurs et modèles d'évaluation de la conformité aux règles de l'art pour le mécanisme d'érosion interne	10
IV) Conclusion.....	10
V) Références bibliographiques.....	10

I) Introduction

Développer des méthodes et outils d'évaluation de la performance et de la conformité aux règles de l'art constitue un enjeu majeur pour les administrations chargées du contrôle de la sécurité des barrages. L'objectif de l'activité WP 3.3.1 « Evaluation de la performance des barrages en service » est de permettre d'évaluer un barrage en introduisant, dans un outil, les informations relatives aux données géométriques, aux principales caractéristiques géotechniques, aux données relatives aux aléas, aux observations in situ et aux principales données d'auscultation lorsqu'elles sont disponibles. A partir de ces données d'entrée, la méthode fournit en sortie la performance¹ du barrage et sa conformité aux règles de l'art (pour l'érosion interne et le glissement). Ce dernier élément est très important notamment pour une détermination future de la sécurité du barrage. Considérons un barrage pour lequel toutes les fonctions sont évaluées comme performantes : l'ouvrage est appréhendé comme totalement performant au jour de la visite. Par contre, si dans le dossier l'ingénieur identifie que les règles de filtre entre le drain et le remblai ne sont pas respectées ou s'il n'y a pas eu de vérification de ces règles, sa note de conformité sera mauvaise. Ceci aura une répercussion sur l'évaluation de sa sécurité. L'ouvrage ne peut être considéré comme sûr, une défaillance pouvant se produire à un terme donné en raison des règles de filtre non conforme et cela, même si au moment de la visite, aucun signe n'indique de perte de performance de l'ouvrage.

Cette méthode permet au final :

- l'homogénéisation des évaluations par les ingénieurs ;
- la capitalisation des connaissances qui peut aider à pallier des départs à la retraite ou mutations et faciliter la formation d'ingénieurs débutants ;
- le regroupement des connaissances en vue de favoriser leur utilisation et leur diffusion.

Deux types de barrages et trois modes de dégradation ont été étudiés :

- Barrages équipés d'un Dispositif d'Etanchéité par Géomembrane (DEG) : surverse et glissement du talus aval ;
- Barrages en remblai homogène : surverse et érosion interne dans le remblai.

La méthode est ici adaptée aux barrages de dimensions modestes, pas toujours équipés de dispositif d'auscultation, pouvant présenter de la végétation arborescente.

Cette activité s'appuie sur des méthodes et outils basée sur des modèles à base de connaissances et donc la formalisation de savoirs experts. Les différentes formalisations ont été implémentées sous la forme d'une interface de calcul développée en utilisant Visual Basic. L'outil fonctionnant sous Excel permet de réaliser les évaluations et d'enregistrer l'ensemble des données et des calculs. Il permet aux inspecteurs des services de contrôle de l'administration en France et en Italie de saisir les données directement sur le lieu des barrages lors des inspections.

Ce document fournit le principe de la démarche ainsi qu'une vue d'ensemble sur les différentes formalisations réalisées. Il est complété de deux annexes : l'Annexe 1 contient le descriptif de l'ensemble des indicateurs et modèles pour les différents cas étudiés, l'Annexe 2 est une notice d'utilisation de l'interface d'évaluation et de traçabilité des résultats. Cet outil constitue le livrable opérationnel de l'activité WP3.3.1 « outil de gestion des presque accidents (émergence) ».

¹ La performance est définie comme le jugement, à un instant donné, de son aptitude à remplir les fonctions pour lesquelles il a été conçu

II) Principe de la démarche

A) Indicateurs

L'évaluation de la performance et de la conformité aux règles de l'art repose sur des indicateurs définis comme « information ou donnée formalisée de manière à rendre son utilisation répétable et reproductible. Les informations peuvent être de différentes natures : observation visuelle, données d'auscultation, données issues d'un modèle, informations ou données de conception ou réalisation. Un indicateur donne des indications sur l'état d'un phénomène ou la performance d'une fonction » (Curt et al., 2010).

Les indicateurs se déclinent en 4 catégories :

- indicateurs visuels (IV) ;
- indicateurs d'auscultation (IA) ;
- indicateurs calculés par modèles (ICM) ;
- indicateurs issus du dossier barrage/conception (IDB).

Les 3 premiers types sont des indicateurs de performance tandis que les indicateurs issus des éléments dossier barrage/conception sont utilisés pour déterminer la conformité aux règles de l'art. L'évaluation des indicateurs visuels et d'auscultation peut être réalisée directement sur le terrain tandis que les indicateurs calculés par modèles nécessiteront une phase au bureau avant l'évaluation.

Chaque indicateur est formalisé selon une grille comprenant notamment un nom, une échelle et des références sur celle-ci permettant de mener l'évaluation. Le Tableau 1 présente un exemple d'indicateur formalisé.


Nom	IV : Etat du dispositif d'évacuation des crues
Echelle références et	
	<p>10 : Etat parfait</p> <p>8-9 : Défaut de surface (cavitation)</p> <p>6-7 : Défaut structurel du bajoyer (fissuration, mouvements légers)</p> <p>4-5 : Mouvements du bajoyer tels qu'il n'existe plus de continuité hydraulique (par exemple, cisaillement du joint waterstop)</p> <p>1-3 : Encombres ou obstructions liés à des éboulements de versant susceptibles de provoquer des débordements OU érosion du remblai aux abords du coursier, du dissipateur ou de la zone d'entonnement</p> <p>Ceci correspond à deux types de désordres :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Désordres provoquant des fuites et susceptibles d'éroder le remblai - Désordres compromettant l'écoulement (i.e. éboulement qui remplit le coursier)

Tableau 1. Indicateur visuel « Etat du dispositif d'évacuation des crues »

Deux types d'échelle sont employées, la première (Figure 1-a) pour les indicateurs visuels, auscultés et calculés, la seconde (Figure 1-b) pour les indicateurs de conception-réalisation.



Figure 1. Echelles d'évaluation (a : Indicateurs visuels, auscultés, calculés – b : indicateurs de conception-réalisation)

Les évaluations sont réalisées selon les jalons indiqués dans les grilles de formalisation. Par exemple, selon le Tableau 1, la note de 10 est donnée si le dispositif d'évacuation des crues est en parfait état, une note de 8 ou 9 si ce dispositif comporte un défaut de surface liée à de la cavitation.

Dans le cas où une donnée est non disponible, le système prend en compte cette information et indique la donnée comme absente. La présence d'une ou plusieurs données absentes impliquées dans le calcul de la performance d'une fonction (ou conformité) implique que la fonction ne peut être calculée, de même que la performance vis-à-vis du mode de dégradation concerné. Il s'agira d'obtenir les données manquantes et de refaire l'évaluation pour que les calculs de performance (ou conformité) fournissent une note chiffrée.

B) Modèles d'agrégation

a) *Modèles d'agrégation pour l'évaluation de la performance*

Dans le modèle d'évaluation, les indicateurs (par exemple Fuite eau claire ou Etat exutoire drain...) se situent au niveau hiérarchique le plus bas. Ils sont agrégés (Figure 2) par l'opérateur arithmétique « minimum » ou par des règles SI-ALORS, pour calculer la performance des fonctions (Etanchéité, Drainage...). Les performances des fonctions sont ensuite agrégées entre elles afin de fournir la performance vis-à-vis de d'un mode de dégradation (ci-dessous, performance vis-à-vis de l'érosion interne).

Cas barrage non équipé de dispositif d'auscultation
potentielle présence végétation intégrée

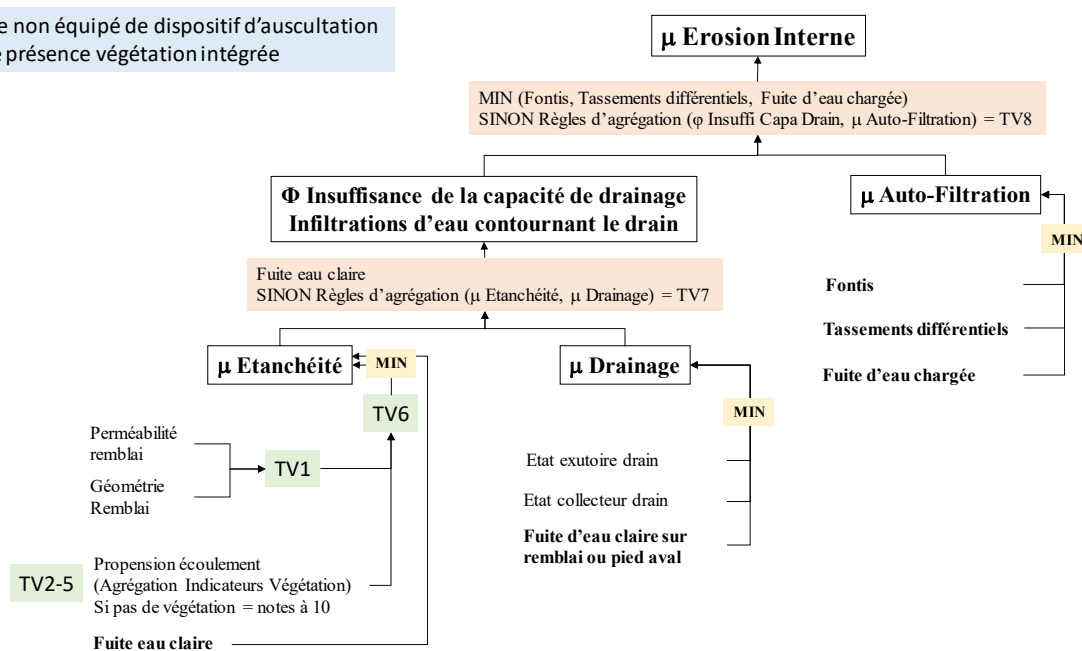


Figure 2. Exemple d'agrégation d'indicateurs – Modèle d'évaluation de la performance vis-à-vis de l'érosion interne (TV : Table de Vérité)

Les tables de vérité sont une compilation de règles SI-ALORS entre deux indicateurs sur la Figure 3. Par exemple, *SI Perméabilité du Matériau = 3 et SI Géométrie = 5 ALORS Perméabilité intrinsèque du remblai = 3* »

		IE1.2 Perm. du mat.											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
IE1.3 Géométrie	0												
	1												
	2												
	3	0	1	1									
	4	1	1	1	2	4	4	4	4	5	5	5	
	5	1	1	2	3	3	4	5	8	8	8		
	6	2	2	4	4	5	6	6	6	8	8	8	
	7	2	2	4	5	5	6	7	7	8	8	9	
	8	3	3	4	5	6	7	8	8	8	9	10	
	9	3	3	4	5	6	7	8	9	9	9	10	
	10	3	3	4	5	6	7	8	9	9	10	10	

Figure 3. Exemple de table de vérité

b) Modèles d'agrégation pour la conformité aux règles de l'art

Une démarche similaire, avec utilisation de l'opérateur minimum, est mise en œuvre pour caractériser la conformité des différents dispositifs (étanchéité, drainage...) aux règles de l'art en cours, par combinaison des indicateurs de conception et réalisation. La conformité est obtenue pour chaque composant du barrage, aucune agrégation globale n'est réalisée.

Un élément important mérite d'être souligné ici : l'évolution au cours du temps de la note de conformité aux règles de l'art est liée à la modification de ces règles ou à la modification du barrage par confortement par exemple.

C) Sources des indicateurs et modèles

Les indicateurs, modèles et tables de vérité utilisées sont issus des travaux de thèse de Corinne Curt (2008) et Gisèle Bambara (2016) et du projet Interreg ALCOTRA RISBA. Des adaptations ont été réalisées afin de couvrir les différents cas étudiés.

III) Indicateurs et modèles développés pour les barrages avec DEG

L'ensemble des grilles d'indicateurs est listé dans l'Annexe 1.

A) Description générale

Les ouvrages disposant d'un DEG sont, dans cette étude, des barrages d'altitude dédiés à la production de neige de culture dans les stations de ski. Le remblai est généralement réalisé en matériaux grossiers, car extraits sur place et donc, n'est pas imperméable dans la masse. Ceci nécessite la pose d'une couche étanche à l'intérieur du « bassin » afin d'y retenir l'eau : cette couche spécifique est le DEG.

Le contexte hydrologique et géotechnique permet de définir 2 types de dégradations majoritaires s'exerçant sur ce type d'ouvrage :

- Le phénomène de surverse ;
- Le glissement.

Ces deux phénomènes peuvent amener à la dégradation voire, dans le scénario le plus pessimiste, la rupture de l'ouvrage.

Le glissement d'un ouvrage peut être prolongé dans le temps c'est-à-dire que l'on pourra observer des signes précurseurs d'un début de glissement. Le phénomène peut se mettre en place durant plusieurs années avant que la structure ne cède. Une surveillance des caractéristiques intrinsèques au remblai (via les indicateurs) est indispensable.

En revanche, pour le phénomène de « surverse », dû à des crues, le phénomène peut combiner : une dégradation progressive de l'ouvrage (suite à plusieurs événements de surverse sur plusieurs années) et une dégradation brutale (1 événement) sous l'effet de d'une masse d'eau trop importante pour la structure en remblai. La surveillance des indicateurs sera contrairement au « glissement » plus axée sur les caractéristiques de l'ouvrage à évacuer l'excès d'eau (évacuateur de crue...).

B) Indicateurs et modèle pour l'évaluation de la fonction de résistance à la surverse

La Figure 4 fournit les indicateurs utilisés pour l'évaluation de la performance vis-à-vis de ce mode de dégradation.

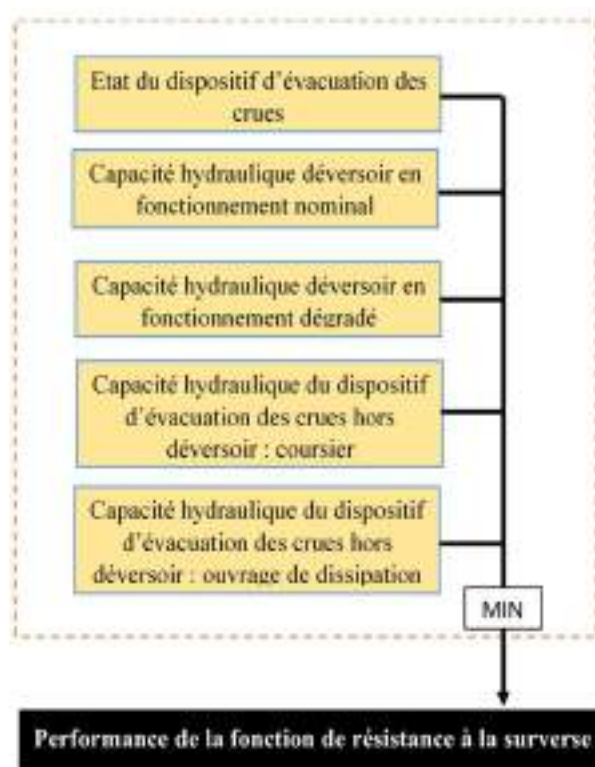


Figure 4. Indicateurs et agrégation pour l'évaluation de la résistance à la surverse

Le tableau 2 répertorie le nombre d'indicateurs intégrés dans le modèle ainsi que leur type.

Types d'indicateurs	Nombre d'indicateurs
Visuels	1
Auscultation	-
Calculés par modèle	4
Total	5

Tableau 2. Nombre et type d'indicateurs utilisés pour l'évaluation de la fonction de résistance à la surverse

C) Indicateurs et modèle utilisé pour l'évaluation de la résistance au glissement

La Figure 5 présente l'agrégation des indicateurs pour le calcul de performance de l'ouvrage avec DEG vis-à-vis du mode de dégradation « glissement ». Les indicateurs peuvent être retrouvés en Annexe 1.

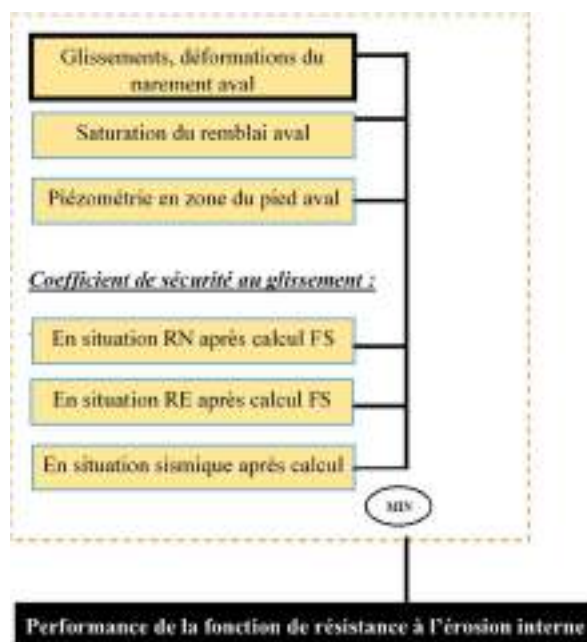


Figure 5. Modèle d'évaluation de performance des ouvrages DEG vis-à-vis du phénomène de glissement.

Précision importante, ce modèle comprend des indicateurs directs (cadre en gras) : **Glissement, déformations du parement aval** ET **Coefficient de sécurité au glissement**. L'indicateur Saturation du remblai est un critère immédiat évalué lors de la visite et est remplacé par la suite par le coefficient de sécurité au glissement.

Le tableau 3 répertorie le nombre d'indicateurs intégrés dans le modèle ainsi que leur type.

Types d'indicateurs	Nombre d'indicateurs
Visuels	1
Auscultation	2
Calculés par modèle	3
Total	6

Tableau 3. Nombre et type d'indicateurs utilisés pour l'évaluation de la fonction de résistance à la surverse

D) Indicateurs et modèle pour l'évaluation de la conformité aux règles de l'art des composants impliqués dans la résistance au glissement

Deux indicateurs de conception-réalisation permettent d'évaluer la conformité aux règles de l'art dans le cadre de la résistance au mécanisme de glissement (Figure 3).

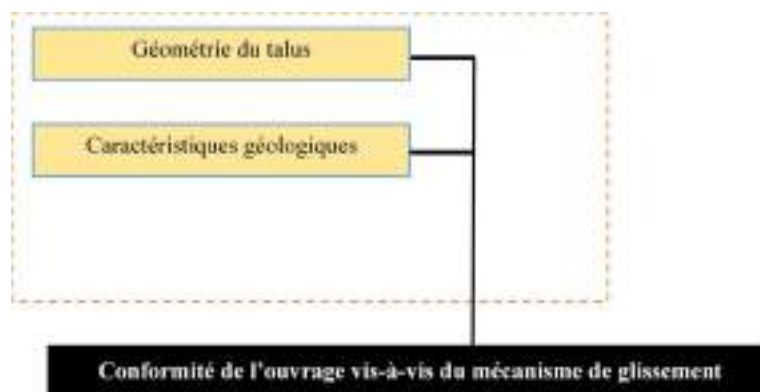


Figure 6. Modèle d'évaluation de la conformité aux règles de l'art pour le phénomène de glissement.

III) Indicateurs et modèles développés pour les barrages en remblai homogène

A) Description générale

Les ouvrages en remblai homogène sont, dans cette étude, des barrages de moyenne altitude voire de plaine dédiés majoritairement à des fins d'irrigation agricole. Ils sont construits en terre compactée caractérisée par des sédiments avec une granulométrie très faible les rendant étanche dans la masse.

Le contexte hydrologique et pédologique de ce type d'ouvrages permet de dégager 2 types de dégradations majoritaires :

- Le phénomène de surverse ;
- L'érosion interne.

Ces deux phénomènes peuvent mener à la dégradation de l'ouvrage voire, à la rupture partielle ou totale dans le cas le plus extrême.

Comme dit précédemment, le phénomène de « surverse » peut combiner : une dégradation progressive de l'ouvrage (suite à plusieurs événements de surverse sur plusieurs années) et une dégradation brutale (1 événement) sous l'effet de d'une masse d'eau trop importante pour la structure en remblai.

Pour le cas de l'évaluation de la performance vis-à-vis de l'érosion interne, deux cas sont considérés : des ouvrages équipés d'instruments d'auscultation (cas codé ci-dessous Modèle 1) ou non équipés dans le cas d'ouvrages anciens notamment (cas codé ci-dessous Modèle 2). Dans les deux cas, des indicateurs relatifs à la végétation ont été intégrés.

B) Indicateurs et modèle pour l'évaluation de la fonction de résistance à la surverse

Les indicateurs et le modèle sont les mêmes que ceux décrits pour le cas des ouvrages à DEG.

C) Indicateurs et modèle pour l'évaluation de la performance vis-à-vis de l'érosion interne

Les deux modèles sont présentés sur la Figure 7 (Modèle 1) et la Figure 8 (Modèle 2).

Modèle 1 - Barrage équipé de dispositif d'auscultation
Potentielle présence végétation intégrée

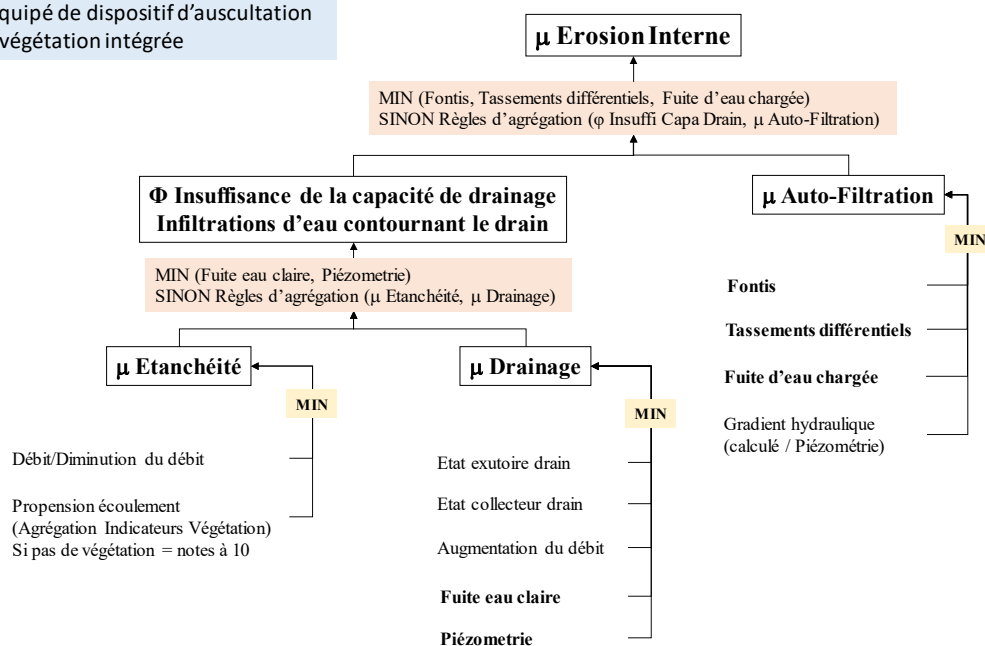


Figure 7. Modèle d'évaluation de la performance vis-à-vis de l'érosion interne – Cas de barrages équipés de dispositifs d'auscultation

Cas barrage non équipé de dispositif d'auscultation
potentielle présence végétation intégrée

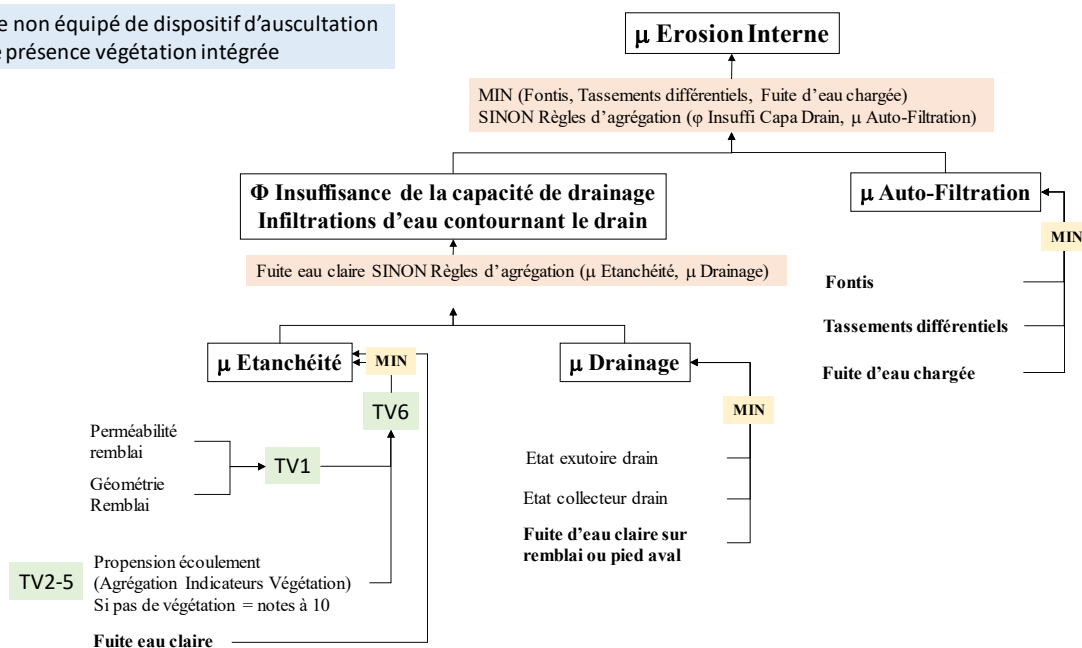


Figure 8. Modèle d'évaluation de la performance vis-à-vis de l'érosion interne – Cas de barrages non équipés de dispositifs d'auscultation

Le tableau 4 répertorie le nombre d'indicateurs intégrés dans le modèle ainsi que leur type. Ce tableau présente l'ensemble des indicateurs pour le Modèle 1 et le Modèle 2 : certains indicateurs sont présents dans les deux modèles, tandis que d'autres sont spécifiques pour l'un ou pour l'autre.

Types d'indicateurs	Nombre d'indicateurs
Visuels	12
Auscultation	4
Calculés par modèle	1
Total	16

Tableau 4. Nombre et type d'indicateurs utilisés pour l'évaluation de la fonction de résistance à la surverse

D) Indicateurs et modèles d'évaluation de la conformité aux règles de l'art pour le mécanisme d'érosion interne

La conformité aux règles de l'art est déterminée pour les 3 fonctions impliquées dans le mécanisme. Trois modèles sont ainsi générés résultant d'un seul indicateur ou de l'agrégation de 2 à 4 indicateurs (Tableau 5).

Fonction Etanchéité	2 indicateurs
Fonction Drainage	4 indicateurs
Fonction de Résistance à l'Auto-Filtration	1 indicateur

Tableau 5. Nombre et type d'indicateurs utilisés pour l'évaluation de la conformité pour le mécanisme d'érosion interne

IV) Conclusion

Ce rapport rassemble les résultats obtenus dans le cadre de l'activité WP 3.3.1 « Evaluation de la performance des barrages en service ». Il constitue une partie du livrable « outil de gestion des presque accidents (urgence) » de ce WP 3.3.1. Il décrit les indicateurs et les modèles développés pour évaluer la performance et la conformité aux règles de l'art de deux types de barrages en remblai : des ouvrages équipés d'un DEG et des ouvrages étanches dans la masse. Les modes de dégradation étudiés sont ceux fréquemment rencontrés sur ces ouvrages : glissement et surverse pour les barrages avec DEG et surverse et érosion interne pour les barrages étanches dans la masse.

Les notations sont effectuées au niveau des indicateurs et les calculs permettent une évaluation des différentes fonctions techniques du barrage et donc potentiellement de déterminer des actions correctives à mener telles que des réparations.

L'outil développé réalise les différents calculs (agrégation des notes) et enregistre l'ensemble des notations et des évaluations assurant ainsi un suivi de l'ouvrage dans le temps.

V) Références bibliographiques

Curt, C., Peyras, L., & Boissier, D. (2010). A knowledge formalization and aggregation-based method for the assessment of dam performance. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 25, 171-183.

Curt C. (2008). Evaluation de la performance des barrages en service basée sur une formalisation et une agrégation des connaissances. Thèse Université Clermont 2.

Bambara G. (2016). Evaluation de la vulnérabilité, vis-à-vis de l'érosion interne, des ouvrages hydrauliques soumis au développement d'une végétation arborescente. Thèse Aix-Marseille Université.