Les ruptures et accidents graves de barrages de 1964 à 1983

Ruptures and serious accidents on dams from 1964 to 1983

Alain Lebreton

Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées
Secrétaire général
du Comité technique permanent des barrages

Barrage Armando de Sables Oliveria (Brésil)

Pour ces 20 dernières années, l'étude, objet de cet article, présente un recensement, à peu près exhaustif, des ruptures de grands barrages (hauteur d'au moins 15 m au-dessus des fondations) et un recensement partiel, à partir d'une ample consultation de la littérature, des ruptures de barrages plus petits. Elle analyse ces accidents : fréquence, causes, répartition géographique et selon l'âge et le type du barrage. Elle examine enfin les conséquences de ces accidents (nombre de victimes) et propose une évaluation des risques pour la population dus à ces ouvrages.

For the last 20 years, the study described in this paper gives an almost complete list of ruptures of major dams (height at least 15 m above the foundations) and a partial list for smaller dams, obtained from extensive consultation of the literature. It analyzes these accidents : frequency, causes, geographic distribution and distribution according to the age and type of dam. Finally, it examines the consequences of these accidents (number of victims) and proposes an evaluation of the hazards to which the population is exposed due to these dams.

La nouvelle étude des accidents de barrages qui vous est présentée à plusieurs originalités :

— elle ne porte que sur vingt ans, mais ces vingt années sont les dernières connues (1964-1983);

— elle s'intéresse aux victimes de ces accidents;

— elle englobe tous les barrages dont les accidents ont pu être recensés, même si ce ne sont pas des grands barrages (15 m de hauteur) au sens de la Commission Internationale des Grands Barrages (CIGB).

Recensement

Cette étude a profité d'un dépouillement systématique de revues techniques depuis 1964 et notamment des revues anglo-saxonnes « Engineering News Record » et « Water Power and Dam Construction ». Elle a utilisé aussi les résultats des travaux de la CIGB (brochures et rapports des congrès) ainsi que les travaux personnels de MM. Goubet, Schnitter et autres.

Ont été considérés comme accidents de barrages tous ceux ayant conduit à des lâchures involontaires et importantes d'eau à l'aval. Ont été exclus tous les ouvrages qui n'ont pas été conçus comme des barrages définitifs et notamment les digues de stériles, les barrages naturels et les batardeaux de protection de chantier. Ont été inclus,

par contre, les accidents, en cours de construction, sur l'ouvrage principal.

Les *tableaux I à IV* donnent les listes et indications relatives à ces accidents. Les *tableaux I et II* comportent tous les barrages, dans l'ordre chronologique sur le *tableau I*, dans l'ordre alphabétique des pays et des barrages pour le *tableau II* (sans les observations, ni références). Les *tableaux III et IV*, eux aussi par ordre alphabétique des pays et sans observations ni références, donnent séparément la liste des accidents de barrages de plus et de moins de quinze mètres de haut. Cette liste est, pensons-nous, à peu près complète pour les plus grands barrages, et par contre probablement très incomplètes pour les plus petits.

Analyse des accidents

Analyse globale

Les *tableaux V à X* sont des tableaux d'analyse synthétique des accidents recensés. A partir des évaluations du nombre de barrages de plus de 15 m dans le monde, faites par M.A. Goubet pour l'année 1977, année assez bien située dans la période 1964-1984 étudiée, et des estimations de la proportion de digues dans le total des barrages faites par la CIGB (DBR — 1983), voir *tableau XI*, des fréquences d'apparition de certains types d'accidents ont été calculés pour barrages de plus de 15 m.

Le nombre moyen d'accidents, pour tous ceux recensés, est de 3,6 par an avec un écart type de 3,2. Pour les seuls barrages d'au moins 15 m il est environ 2 par an avec un écart-type de 2,6. Si ce nombre suit une loi de Poisson, ce qui n'est pas évident d'après les valeurs constatées, 13 % des années serait sans accident, 26 % avec 1 accident, 27 % avec 2, 19 % avec 3, 9,5 % avec 4, 4 % avec 5 et environ 1,5 % avec plus de 5. Les valeurs observées montrent en fait plus d'années extrêmes (30 % sans accident, 5 % avec plus de 5, 11 accidents en 1976), en notant que cette série n'a que vingt valeurs.

On peut toutefois prétendre que les ruptures de barrages en construction, notamment la submersion de digues par des crues, ne sont que des incidents prévisibles et acceptés, les ouvrages de dérivation des eaux n'étant le plus souvent conçus que pour faire face à une crue décennale. Les ruptures de vannes, souvent, ne sont pas non plus considérées comme de graves accidents. Il faut tout de même noter que les ruptures de barrage en construction ont fait 280 morts et les ruptures de vannes 111, au cours de ces 20 ans. Néanmoins, si on les exclut, le nombre moyen d'accidents, pour les barrages en service d'au moins 15 m, hors ruptures de vanne, n'est plus ainsi que de 1,4 par an en moyenne, avec un écart type de 1,9. Si ce nombre d'accidents par an suit une loi de Poisson,

avec les mêmes réserves que ci-dessus, il y aurait un quart d'années sans accident (35 % constatés), un tiers avec un accident, un quart avec deux accidents, une sur dix avec trois accidents et une sur vingt avec plus de trois.

Pour les barrages en service, d'au moins 15 m, la fréquence des ruptures serait d'environ 1 par 10 000 barrages et par an.

Zones géographiques

Le *tableau V*, par zones géographiques, met une nouvelle fois en évidence des fréquences d'accidents plus élevées aux Etats-Unis que dans le reste du monde et surtout plus élevées qu'en Europe et au Japon. L'analyse par type de barrage explique au moins une partie de ce phénomène.

Construction et mise en eau

Le *tableau VI* montre que, pour les nouveaux barrages construits et d'au moins 15 m de hauteur finale, la fréquence de rupture pendant la construction serait, pour les digues, d'au moins 1,9/1000 digues, et pendant le premier remplissage et les dix premières années, toujours pour les digues, d'environ 1,6/1000. Il n'y a eu qu'un accident de barrage en maçonnerie ou en béton après construction pendant ces vingt années. La fréquence de rupture de ces barrages doit donc être inférieure à celle des digues sans pouvoir être vraiment chiffrée.

Type de barrages

Le *tableau VII* montre que la fréquence de ruptures des digues en service est environ quatre fois plus élevée que celle des barrages en béton ou en maçonnerie ($1,5 \cdot 10^{-4}$ contre $0,4 \cdot 10^{-4}$). Ceci explique, au moins en partie, la

différence constatée sur le *tableau V* entre USA et Europe, la proportion de digues étant plus élevée aux USA. Le *tableau VIII* montre, en effet, que les fréquences de rupture pour les digues et autres barrages ne sont pas si différentes selon les diverses zones géographiques.

Age du barrage

Le *tableau IX* montre, pour les barrages de plus de 15 m, qu'environ 1/4 des accidents se produit au cours de la construction, 1/4 à la première mise en eau et pendant les 5 premières années et la moitié en service. Cette dernière proportion est beaucoup plus élevée (87 %) pour les barrages de moins de 15 m, mais cela résulte probablement d'un biais de l'échantillon, la submersion de petites digues en construction ne faisant pratiquement jamais l'objet d'articles de presse en raison du peu d'importance des conséquences.

Causes de rupture des digues

Le *tableau X* analyse les causes de ruptures des digues; pour les digues d'au moins 15 m, la moitié des ruptures

sont causées par des crues (submersion ou érosion par l'aval) et l'autre moitié par des renards ou glissements. Pour les digues de moins de 15 m, cette proportion est plutôt de 3/4, 1/4.

Causes des ruptures des barrages en béton ou maçonneries

Les causes sont indiquées dans les renvois du *tableau VII*. Il y a eu 5 ruptures, dont 2 sont survenues lors de crues (submersion et érosion par l'aval), 2 par rupture de la structure (renversement et rupture d'un contrefort, et la dernière par une rupture de fondation. Aucune n'est survenue pendant la construction. Le barrage à contrefort était ancien (57 ans). Le barrage poids renversé n'avait que 6 ans. Seuls 2 des 5 barrages rompus avaient plus de 15 m (une à voûte multiple avec rupture des fondations au bout de 13 ans, le barrage poids renversé précité).

Ruptures de vannes

Bien que non considérées généralement comme de grands accidents de barrages, les 4 ruptures de vannes recensées ont néanmoins fait un nombre important de victimes (111).

Nombre de victimes

Recensement

Le *tableau XII* décompte le nombre de ruptures ayant fait des victimes dont le nombre est connu ou a pu être estimé. Les accidents les plus graves se sont produits aux Indes et en Indonésie, pays évidemment très peuplés. Le nombre total de victimes serait ainsi de 2 600, soit environ 130 par an et 36 par rupture. Tous les accidents graves ont été provoqués, pendant ces 20 ans, par des ruptures de digues, mais il n'en a pas été de même pour les décennies précédentes où de nombreux barrages poids, un barrage voûte (Malpasset), ainsi que l'éboulement dans la retenue de Longaronne, ont fait aussi de nombreuses victimes. Aux USA, le nombre de morts aurait été de 61 (3 par an et moins de 2, en moyenne, par rupture) et en Europe de 71 (un peu plus de 3 par an et 5, en moyenne, par ruptures recensées). Pour l'ensemble Asie-Afrique-Amérique du Sud, il serait d'environ 2 500 (plus de 120 par an et plus de 130, en moyenne, par rupture) mais le seul accident de Macchuu II aux Indes a déjà fait environ 2000 victimes.

Nombre de victimes par rupture

L'*annexe I* est une tentative d'analyse plus approfondie du nombre de victimes constaté par rupture. Environ la moitié des accidents ne ferait aucune victime (si l'on suppose qu'il n'y a pas eu de victimes lorsqu'il n'en a pas été fait état). L'ajustement conduit à estimer que, dans un cas sur 10, la rupture ferait plus de 60 victimes environ, et dans un cas sur 100 plus de 800 environ. Les valeurs sont toutefois à prendre avec précautions en raison du faible échantillonnage.

Nous avons donc été conduit à étendre cette étude aux accidents dont le nombre de victimes a pu être retrouvé

et s'étant produits depuis l'année 1800, éléments qui avaient été recensés dans une étude non publiée sur la détermination d'un critère simple du danger potentiel des barrages. Les *tableaux XIII et XIV* en donnent quelques résultats et l'*annexe II*, sous la même forme que l'*annexe I*, les analyse. Les ajustements sont meilleurs que ceux de l'*annexe I* et les nombres calculés sont portés sur la *figure 3*. On retrouve environ une moitié d'accidents sans victimes, mais des valeurs plus élevées pour les fréquences faibles (240 victimes dans plus de 10 % des cas, 2 500 dans plus de 1 cas sur 100). Sur la *figure 4*, les courbes de cumul décroissantes sont comparées aux indications données par Schnitter dans la *figure 5* de son article de 1976).

Il paraît assez normal que la gravité moyenne des accidents ait diminué depuis 1800; l'amélioration de la surveillance et des communications (téléphone), permettent des alertes plus efficaces: l'amélioration des caractéristiques des barrages poids, de profil souvent insuffisant autrefois, diminue le risque de rupture brutale des ouvrages de ce type.

Nombre de morts par an

L'analyse du nombre de morts par an (par intervalles de 5 ans et de 10 ans) depuis 1855 et qui est donnée sur le *tableau XIV* donne pourtant une impression contraire. Avec une extrême variabilité (de 0 à près de 3 000 sur les décennies), le nombre moyen de morts par an, supérieur à 100 sur toute la période, paraît avoir évolué d'environ 60 par an vers 1850 à 150 par an actuellement. La baisse de la gravité moyenne par accident semble donc avoir été plus que compensée par l'augmentation du nombre de barrages et du nombre des accidents, ainsi que par

l'occurrence de quelques accidents très graves ayant fait plus de 1 000 morts, entre 1960 et 1965 et 1975 et 1980.

Nombre de morts par type de barrages

Pour la période 1800-1983, le *tableau XIII* montre que les accidents dus aux ruptures de barrages en béton ou maçonné seraient deux fois plus graves (en moyenne) que ceux de digues en terre ou en enrochements. Ceci paraît confirmé par l'examen de la *figure 5*. Toutefois cette

différence s'estompe pour ce qui concerne les accidents ayant fait le plus de victimes et la 2^e partie de l'*annexe II* ne montre, pour ces accidents, qu'une augmentation d'un tiers environ. Ce phénomène provient sans doute essentiellement du mode de rupture, brutal pour les premiers, progressifs pour les seconds, qui modifie totalement les possibilités d'alerte et d'évacuation des populations. En outre, beaucoup de ruptures de digues surviennent à la suite de crues ayant conduit à un départ des populations concernées hors des zones atteintes par l'onde de rupture.

Conclusion

En supposant, avec une certaine audace, que les fréquences et écarts observés ces 20 dernières années se retrouveront les 20 prochaines on peut estimer les risques dus aux grands barrages, au sens de la CIGB, c'est-à-dire d'au moins 15 m de hauteur au-dessus des fondations.

En France, par exemple, il y aura pendant cette période, environ 500 barrages en service (1/3 de digues et 2/3 de barrages en béton ou en maçonnerie) comme le montre le *tableau XV* et il s'en construira une centaine pendant ces 20 années.

Il devrait se produire en France, au cours de ces 20 prochaines années, un accident de barrage. Plus précisément, si l'on suppose que ce nombre de rupture suivra une loi de Poisson, il y aura 37 % de chances qu'il n'y en ait pas, 37 % de chances qu'il n'y en ait qu'un, 18 % de chances qu'il y en ait deux, 6 % trois, et environ 1 à 2 % qu'il y en ait plus de trois.

En combinant la loi de Poisson de ce nombre d'accidents et les lois (*annexe I*) approchant le nombre des victimes par accident, on peut estimer le nombre de victimes qui pourrait résulter de ces accidents « statistiques » en France durant ces 20 prochaines années.

Il y a heureusement presque 75 % de chances qu'il n'y ait pas de victimes (notamment dans les cas où il n'y aurait pas d'accidents). Il y a 80 % de chances qu'il y ait moins de 7 morts, 90 % moins de 90, 95 % moins de 250. Il n'y aurait qu'une chance sur 100 que ce nombre, malheureusement, dépasse 900 et une sur mille qu'il dépasse 4 000.

On peut penser que les événements à venir n'ont aucune raison de suivre ces lois statistiques, diverses,

approximatives et basées sur le passé. Elles portent de plus sur des événements mondiaux alors qu'il apparaît que les risques sont moins élevés dans les pays de vieille civilisation (Japon — Europe). De toute façon, dans notre pays, toutes les dispositions nécessaires sont prises, notamment depuis l'accident de Malpasset en 1959 (421 morts), continueront à être prises et seront, s'il le faut, renforcées en matière d'examen des projets, de surveillance et de contrôle de la réalisation et de l'exploitation, d'entretien, de réparations et de confortements. Il est donc permis d'espérer que l'accident statistique de ces 20 prochaines années ne se produira pas. S'il se produisait, grâce aux plans d'alerte qui ont été mis en place ou qui vont l'être, il devrait faire partie de ceux qui ne font pas, ou très peu de victimes.

Nota : Cette étude n'a pas pris en compte les risques dus aux ruptures de dépôts de stériles miniers saturés d'eau. Les coulées de boue qui en résultent ensevelissent tout et peuvent être plus meurtrières que les lâchures d'eau résultant de ruptures de barrages de taille analogue. La démonstration vient encore d'en être faite récemment à Tesero en Italie (214 morts). Il en avait été de même en Virginie aux USA en 1972 (125 morts) à Aberfan au Pays de Galles en 1966 (144 morts) et en 1965 à El Cobre au Chili (200 morts). En outre, les précautions prises pour assurer la sécurité ne sont probablement pas les mêmes que pour les barrages.

Références bibliographiques

(avec les abréviations utilisées).

[1] ENR : *Engineering News Record*.

[2] WP : *Water Power and Dam Construction*.

[3] HB : *La Houille Blanche*, A. GOUBET, Risques associés aux barrages n° 8/1979.

[4] CETEGREF : Centre technique du génie rural, des eaux et des forêts, à Antony (France).

[5] COIMBRA : Rapports à la *Conférence internationale sur la sécurité des barrages*, Coimbra 23-28 avril 1984.

[6] USCOLD-DSRC : USCOLD, avril 1972, *Dam Safety Practices and Concerns in the United States*.

[7] USDI-DPS : US Department of the Interior, *Dams and Public Safety*, 1980.

[8] CIGB Qxx : *Congrès international des grands barrages*, Compte-rendu de la Question xx (notamment Q 45 et Q 49).

[9] CIGB-LFDI : CIGB, *Lessons from dam incidents*, 1974.

[10] USCOLD-LFDI : ASCE et USCOLD, *Lessons from dam incidents (USA)*, 1975.

[11] CIGB : *Répertoire des Grands Barrages* — 1973, 1975, 1977.

[12] CIGB-DBR : *Détérioration des barrages et réservoirs, recueil de cas et analyse*, décembre 1983.

[13] SCHNITTER : WASSER, *Energie, Luft - Eau, énergie, air* n° 5, 1976 — Sécurité statistique des barrages.

Tableaux et annexes

Tableau I. — Ruptures de barrages (1964-1983) (sauf barrages naturels, dépôts de stériles, batardeaux de chantier.

Tableau II. — Ruptures de barrages (1964-1983).

Tableau III. — Ruptures de barrages d'au moins 15 mètres (1964-1983).

Tableau IV. — Ruptures de barrages de moins de 15 mètres (1964-1983).

Tableau V. — Ruptures de barrages par zones géographiques (1964-1983).

Tableau VI. — Ruptures de barrages d'au moins 15 m (hauteur finale) pendant leur construction et leurs premières années (1964-1983).

Tableau VII. — Ruptures de barrages par types d'ouvrages (1964-1983).

Tableau VIII. — Ruptures de barrages en service d'au moins 15 m par zones géographiques et par types d'ouvrage.

Tableau IX. — Age des barrages rompus (1964-1983).

Tableau X. — Digues — Causes des ruptures (1964-1983) — sauf ruptures de vannes.

Tableau XI. — Estimation du nombre de barrages en service d'au moins 15 m dans le monde (en 1977).

Tableau XII. — Nombre de ruptures ayant fait des victimes connues
et nombre de victimes connues (1964-1983).

Tableau XIII. — Nombre de ruptures (Nb) ayant fait des victimes connues et nombre de victimes (N) selon
le type de rupture et par pays (1800-1983).

Tableau XIV. — Évolution du nombre de victimes d'accidents de barrages au cours des années depuis 1855.

Tableau XV. — Barrages en service en France, selon la définition CIGB (répertoire à jour en 1982).

Annexe I. — Distribution des accidents selon le nombre des victimes (1964-1983).

Annexe II. — Distribution des accidents selon le nombre des victimes (1800-1983).

Tableau I
Ruptures de barrages
(1964-1983)
(sauf barrages naturels,
dépôts de stériles, batar-
deaux de chantier).

P poids
Q poids-voûte
V voûte
W voûtes multiples
C contreforts
T terre
E enrochements
b en béton
m en maçonnerie
n avec noyau étanche (digue)
a avec masque amont (digue)
e évidé (poids)

NOM DU BARRAGE	PAYS	TYPE	HAUTEUR (m)	VOLUME (dam3)	LONGUEUR (m)	VOLUME DE LA RETENUE (ha3)	REFERENCE CIGR (an/p/1)	DATE DE LA RUPTURE (an/m/j)	AGE OU ETAT	CAUSES DE LA RUPTURE	NOMBRE DE MORTS	OBSERVATIONS	REFERENCE PRINCIPALE	REFERENCE CIGR-LF01 (p)	REFERENCE USCOLD-LF01 (p)	REFERENCE USDI-DAPS (p)	REFERENCE CIGR-DNR (p)
Swift	USA Montana	E	48	206	220	37	73/320/2	1964/06/00	50 ans	submergé par une crue	0		ENR 1964/06/18 p43	843			
Kedarnala	Inde	T	20	360	850	17	73/659/15	1964/07/05	1er remplissage renard			CIGR-LF01 n°88	540				
Hell Hole	USA Calif.	E	66	1600	500	37		1964/12/00	En construction	submergé par une crue	0	A mi-hauteur, (125 m)	ENR 1965/01/07 p20	859			
Torrejon Tajo	Espagne	P	62	248	380	174	79/174/12	1965/00/00	En construction	rupture d'une vanne	30		CIGR Q49 p721				285
Ducar Banja	Yougoslavie	T	27	25	150	3	73/970/16	1965/00/00	13 ans	submergé par une crue			CIGR-LF01 n°220	814			
Cazadero	USA Oregon	D	21		55	16		1965/01/29	59 ans	submergé par une crue			CIGR-LF01 n°238	849	17		
Wesley E Seale	USA Texas	T	35	811	1800	374	73/421/23	1965/02/00	7 ans	rupture de vanne		Lâchure de 120 000 m3 d'eau	CIGR-LF01 n°213	804	18		
Ruthe	Italie	Vm	15		0.3			1965/11/07	13 ans	rupture de la fondation	0		Coimbra 1984 p54				
Hill Brook	USA Mass.	C	12		0.034			1966/00/00	57 ans	rupture d'un contrefort	0		ENR 1966/12/12 p14				
Emery	USA Calif.	T	15	19	130	0.5	73/298/2	1966/12/09	116 ans	renard près d'une conduite			LF01-USA p170		170		297
Wachi	Japon	Pb	24	24	140	5.1	73/814/8	1967/07/02	Inauguration	rupture d'une vanne	1	Lâchure de 2000 m3 d'eau	ENR 1967/07/13 p45				332
Mercedes	USA Texas	Pb	8		90			1967/09/00	4 ans	crue, érosion par l'aval			ENR 1967/10/05 p20				
Manaksagar	Inde	T	16	3800	3600	210	73/650/18	1967/09/00	5 ans	renard	100		ENR 1967/09/14 p17		165		
Seapor	Indonésie	E	54	650	230	52	73/685/23	1967/12/01	En construction	submergé par une crue	200	En construction très ralentie	ENR 1967/12/07 p16				
Chitauri	Inde	T						1968/00/00		submergé par une crue			WP décembre 1971				
Piedras	Espagne	E	40	380	620	60	79/175/18	1968/00/00	En construction	submergé par une crue		Valeurs pour barrage terminé	CIGR Q49 p721				
Odriel	Espagne	E	35	94	154	3.3	79/177/7	1968/00/00	En construction	submergé par une crue			CIGR Q49 p721				284
East Lee	USA Mass.	T	8		0.05			1968/03/00	1er remplissage	renard près d'une conduite	2		ENR 1968/04/04 p32				
Laguna	Mexique	T	17		675	43.5	73/852/15	1969/00/00	57 ans	renard			CIGR Q45 p605				267
Krone	Afrique du Sud	T	7		114			1969/00/00	11 ans	glissement des talus		lors d'un tremblement de terre	Coimbra 1984 p37				
Cottonwood River	USA Minn.	E	10					1969/04/10	33 ans	submergé par une crue	0	3ème rupture de ce barrage par une crue	ENR 1969/05/08 p15				
Monwalk	USA Ohio	T	7		1.8			1969/07/05	En service	submergé par une crue	0	Hauteur estimée	ENR 1969/07/17 p13				
Lower Memorial	USA Ohio	TE	12					1969/07/05	En service	submergé par une crue	0		ENR 1969/07/17 p13				
Wheatland I	USA Wyoming	T	14		2000	11.6		1969/07/14	76 ans	renard près d'une conduite	0	Surélevé en 1935 et 1959	ENR 1969/07/17 p16	377			
Pardo (Frias)	Argentine	E	15		60	0.2		1970/01/04	30 ans	submergé par une crue	25	Victimes essentielles de la crue	ENR 1970/01/15 p20		143		329
Sheep Creek	USA W-Dak.	T	18		335	1.4		1970/05/08	1er remplissage	renard près d'une conduite			LF01-USA p333	333			
Tea Vaca	USA Porto-Rico	E	22	2000	500	10	76/157/6	1970/10/09	En construction	submergé par une crue		A tiers de hauteur, (65 m)	LF01-USA p350	350			
Upper Grogan	Grande-Bretagne	T	8	46	60			1971/08/04	120 ans	submergé par une crue		déjà rompu en 1908	CIGR-DBR p246				246
Knife Lake	USA Minnesota	T	6		60	1		1972/00/00	En service	érosion à l'aval du déversoir			ENR 1972/07/27 p5				
Irukaiki	Japon	T	27	1250	720	15	73/746/23	1972/00/00	340 ans	submergé par une crue			CIGR-DBR p240				260
Konra	Afrique du Sud	E	21		300	30	79/84/24	1972/02/22	En construction	submergé par une crue	0	Hauteur finale: 48 m	CIGR Q49 p157				280
Whitewater Brook	USA New Hamps.	T	19		137	0.5		1972/05/04	30 ans	érosion le long du déversoir		Surélevé en 1949	LF01-USA p379	379			
Canyon Lake	USA S-Dakota	T	6		150	0.2		1972/06/09	42 ans	submergé par une crue	0	240 morts dus à la crue	ENR 1972/06/15 p13		133		
Lake Barcroft	USA Virginie	TP	21		3.1			1972/06/21	59 ans	submergé par une crue	0		ENR 1972/06/29 p11	224			
Chikkahole	Inde	Pm	20	174	670	11	73/659/1	1972/12/08	6 ans	renversement			CIGR Q49 p471				
Lower Latham	USA Colorado	T	6		7			1973/00/00	75 ans	vieillesse	0		ENR 1970/04/19 p12				
Muddy Bayou	USA Miss.	T	7					1973/00/00	En service	submergé par une crue	0	Hauteur estimée	ENR 1973/04/19 p12				
Tupelo Bayou	USA Arkansas	T	15	94	440	4		1973/03/11	En construction	renard	0		CIGR-DBR p357				357
Huharou	Tchécoslovaquie	T	6	150	110			1974/08/19	220 ans	submergé par une crue			CIGR-DBR p331				331
Walter Bouldin	USA Alabama	T	37	1900	3400		73/491/18	1975/02/10	8 ans	glissement du talus amont	0		ENR 1975/02/20 p12				358
Seneca	USA Maryland	T	10	95	170	3.6	79/195/5	1975/09/25	En construction	submergé par une crue	0		CIGR-DBR p352				352
Ropptjern	Norvège	T	8		1600	3.2		1976/00/00	En service	submergé par une crue	0		WP juillet 1976 p3				
Madagatara	Libye	T	39	395	200	42	73/992/3	1976/00/00	1er remplissage	renard			personnelle	CIGR-DBR p282			282
El Gasco	Espagne	EPm	54		160			1976/00/00	En construction	glissement du talus aval			ENR 1976/02/26 p3				
Bear Wallow	USA W-Carolina	T	15		60	0.1		1976/02/22	En service	effondrement après des pluies	5		ENR 1976/06/10 p16				
Santo Thomas	Philippines	T	33		100			1976/06/00	En construction	submergé par une crue	80	Encore 10 mètres à monter	ENR 1977/11/13 p8				
Teton	USA Idaho	T	93	7300	900	308	73/530/23	1976/06/05	1er remplissage	renard	11		CIGR Q49 p534				354
Dhamibara	Inde	T	21					1976/06/06	11 ans	submergé par une crue			CIGR-DBR p346				
Lower Idaho Falls	USA Idaho	EPb	15		275			1976/06/07	62 ans	submergé par l'onde de Teton			CIGR Q49 p534				346
Manivali	Inde	T	18					1976/07/19	1er remplissage	renard			ENR 1976/09/160p13				
Bolan	Pakistan	T	15	840	500	89	73/879/7	1976/09/00	16 ans	submergé par une crue	0		ENR 1976/09/160p13				
La Paz	Mexique	T	10		1600			1976/10/00	En service	submergé par une crue		430 morts dus à la crue et à la rupture	WP août 1976 p3				
Del Monte	Colombie	T	33					1976/11/00		rupture d'une vanne	80	Hauteur estimée	WP novembre 1976 p3				
Caulk Lake	USA Kentucky	T	20		130	0.7		1976/12/06	23 ans	effondrement du remblai			CIGR-DBR p337				
Francfort	Allémanne	T	10			0.4		1977/00/00	2 ans	renard	0		ENR 1977/09/01 p13				
Euclides da Cunha	Brésil	T	63	2200	300	14	73/86/22	1977/01/20	17 ans	submergé par une crue	0		ENR 1977/02/03 p11				
A.de Salles Oliveira	Brésil	T	32	600	660	26	73/85/23	1977/01/20	19 ans	submergé par l'onde de Euclides	0	Ruptures en cascade de ces deux barrages	ENR 1977/02/03 p11				
Laurel Run	USA Penn.	T	13		190	0.4	73/325/12	1977/07/00	60 ans	submergé par une crue			ENR 1977/07/28 p				
Sandy Run	USA Penn.	T	9			0.1		1977/07/00	26 ans	submergé par une crue			ENR 1977/07/28 p				
Kelly Barnes	USA Georgia	T	8		150	0.5		1977/11/00	37 ans	submergé par une crue	39		WP décembre 1977 p3				
Tater Hill	USA W-Carolina	T	7					1977/11/00	En service	submergé par une crue	0		ENR 1977/11/10				
Canal Rhin-Rain-Dan	Allémanne	T	4			0.4		1979/00/00	1er remplissage	renard	1		ENR 1979/04/05 p16				
Machhu II	Inde	TP	26	1130	4000	100	73/671/8	1979/08/11	7 ans	submergé par une crue	2000		USDI-DAPS p154				
Egrieux	France	Pm	5					1979/10/00	Ancien	submergé par une crue	0	Travaux de réfection en cours	CETEGREF				
Lussas	France	T	9	83	150	0.3		1979/10/00	En construction	submergé par une crue	0	A mi-hauteur, (17 m)	CETEGREF				
Howard	USA Idaho	T	8			0.4		1982/04/00	En service	submergé par une crue	0		ENR 1982/05/06 p				
Caeron	USA Idaho	T	6			0.5		1982/04/00	En service	submergé par une crue	0		ENR 1982/05/06 p				
Bushy Hill	USA Conn.	TPm	8			0.65		1982/06/05	111 ans	submergé par une crue	0		ENR 1982/06/17 p46				
Upper Bond	USA Conn.	T	5			0.25		1982/06/05	En service	submergé par une crue	0		ENR 1982/06/17 p46				
Lawn Lake	USA Colorado	T	7			1		1982/07/15	80 ans	renard	4		ENR 1983/03/10 p21				
Bishop	USA Calif.	T	6		18			1982/09/26	78 ans	submergé par une crue	0		WP novembre 1982 p3				
Tous	Espagne	T	77		50		79/187/3	1982/10/20	2 ans	submergé par une crue	40	Non terminé, hauteur réelle moindre	WP décembre 1982 p7				
D.M.A.D. (Delta)	USA Utah	T	10	95	800	14	73/429/14	1983/06/23	23 ans	crue, érosion par l'aval	0		ENR 1983/06/30 p11				

NOM DU BARRAGE	PAYS	DATE DE LA RUPTURE (an/m/j)
Krone	Afrique du Sud	1969/00/00
Xonza	Afrique du Sud	1972/02/22
Canal Rhin-Main-Dan.	Allemagne	1979/00/00
Francfort	Allemagne	1977/00/00
Pardo (Frias)	Argentine	1970/01/04
A. de Salles Oliveira.	Brésil	1977/01/20
Euclides da Cunha	Brésil	1977/01/20
Del Monte	Colombie	1976/11/00
El Gasco	Espagne	1976/00/00
Odiel	Espagne	1968/00/00
Piedrias	Espagne	1968/00/00
Torrejon Tajo	Espagne	1965/00/00
Tous	Espagne	1982/10/20
Eyrieux	France	1979/10/00
Lussas	France	1979/10/00
Upper Grgan	Grande-Bretagne	1971/08/04
Chikkahole	Inde	1972/12/08
Chitlauni	Inde	1968/00/00
Dhanibara	Inde	1976/06/06
Kedernala	Inde	1964/07/05
Nachhu II	Inde	1979/08/11
Manivali	Inde	1976/07/19
Manaksagar	Inde	1967/09/08
Seapour	Indonésie	1967/12/01
Rutte	Italie	1965/11/07
Irukaike	Japon	1972/00/00
Wachi	Japon	1967/07/02
Wadigatara	Libye	1976/00/00
La Paz	Mexique	1976/10/00
Laguna	Mexique	1969/00/00
Ropptjern	Norvège	1976/00/00
Bolan	Pakistan	1976/09/00
Santo Thomas	Philippines	1976/06/00
Hubacov	Tchécoslovaquie	1974/08/19
Bear Wallow	USA M-Carolina	1976/02/22
Bishop	USA Calif.	1982/09/26
Bushy Hill	USA Conn.	1982/06/05
Cameron	USA Idaho	1982/04/00
Canyon Lake	USA S-Dakota	1972/06/09
Caulk Lake	USA Kentucky	1976/12/06
Cazadero	USA Oregon	1965/01/29
Cottonwood River	USA Minn.	1969/04/10
D.M.A.D.(Delta)	USA Utah	1983/06/23
East Lee	USA Mass.	1968/03/00
Emery	USA Calif.	1966/12/09
Hell Hole	USA Calif.	1964/12/00
Howard	USA Idaho	1982/04/00
Kelly Barnes	USA Georgia	1977/11/00
Knife Lake	USA Minnesota	1972/00/00
Lake Barcroft	USA Virginia	1972/06/21
Laurel Run	USA Penn.	1977/07/00
Lawn Lake	USA Colorado	1982/07/15
Lower Idaho Falls	USA Idaho	1976/06/07
Lower Latham	USA Colorado	1973/00/00
Lower Memorial	USA Ohio	1969/07/05
Mercedes	USA Texas	1967/09/00
Mill Brook	USA Mass.	1966/00/00
Muddy Bayou	USA Miss.	1973/00/00
Norwalk	USA Ohio	1969/07/05
Sandy Run	USA Penn.	1977/07/00
Seneca	USA Maryland	1975/09/25
Sheep Creek	USA M-Dak.	1970/05/08
Swift	USA Montana	1964/06/00
Tater Hill	USA M-Carolina	1977/11/00
Teton	USA Idaho	1976/06/05
Toa Vaca	USA Porto-Rico	1970/10/09
Tupelo Bayou	USA Arkansas	1973/03/11
Upper Bond	USA Conn.	1982/06/05
Walter Bouldin	USA Alabama	1975/02/10
Wesley E Seale	USA Texas	1965/02/00
Wheatland I	USA Wyoming	1969/07/14
Whitewater Brook Up.	USA New Hamps.	1972/05/04
Ovcar Banja	Yougoslavie	1965/00/00

Tableau II
Ruptures de barrages
1964-1983

Tableau III
Ruptures de barrages
d'au moins 15 mètres
(1964-1983).

NOM DU BARRAGE	PAYS	DATE DE LA RUPTURE (an/m/j)
Xonza	Afrique du Sud	1972/02/22
Pardo (Frias)	Argentine	1970/01/04
A. de Salles Oliveira.	Brésil	1977/01/20
Euclides da Cunha	Brésil	1977/01/20
Del Monte	Colombie	1976/11/00
El Gasco	Espagne	1976/00/00
Odiel	Espagne	1968/00/00
Piedrias	Espagne	1968/00/00
Torrejon Tajo	Espagne	1965/00/00
Tous	Espagne	1982/10/20
Lussas	France	1979/10/00
Chikkahole	Inde	1972/12/08
Dhanibara	Inde	1976/06/06
Kedernala	Inde	1964/07/05
Nachhu II	Inde	1979/08/11
Manivali	Inde	1976/07/19
Manaksagar	Inde	1967/09/08
Seapour	Indonésie	1967/12/01
Rutte	Italie	1965/11/07
Irukaike	Japon	1972/00/00
Wachi	Japon	1967/07/02
Wadigatara	Libye	1976/00/00
Laguna	Mexique	1969/00/00
Bolan	Pakistan	1976/09/00
Santo Thomas	Philippines	1976/06/00
Bear Wallow	USA M-Carolina	1976/02/22
Caulk Lake	USA Kentucky	1976/12/06
Cazadero	USA Oregon	1965/01/29
Emery	USA Calif.	1966/12/09
Hell Hole	USA Calif.	1964/12/00
Lake Barcroft	USA Virginia	1972/06/21
Lower Idaho Falls	USA Idaho	1976/06/07
Seneca	USA Maryland	1975/09/25
Sheep Creek	USA M-Dak.	1970/05/08
Swift	USA Montana	1964/06/00
Teton	USA Idaho	1976/06/05
Toa Vaca	USA Porto-Rico	1970/10/09
Tupelo Bayou	USA Arkansas	1973/03/11
Walter Bouldin	USA Alabama	1975/02/10
Wesley E Seale	USA Texas	1965/02/00
Whitewater Brook Up.	USA New Hamps.	1972/05/04
Ovcar Banja	Yougoslavie	1965/00/00

* pour les barrages en construction,
hauteurs une fois terminés.

Tableau IV
Ruptures de barrages
de moins de 15 mètres
(1964-1983).

NOM DU BARRAGE	PAYS	DATE DE LA RUPTURE (an/m/j)
Krone	Afrique du Sud	1969/00/00
Canal Rhin-Main-Dan.	Allemagne	1979/00/00
Francfort	Allemagne	1977/00/00
Eyrieux	France	1979/10/00
Upper Grgan	Grande-Bretagne	1971/08/04
Chitlauni	Inde	1968/00/00
La Paz	Mexique	1976/10/00
Ropptjern	Norvège	1976/00/00
Hubacov	Tchécoslovaquie	1974/08/19
Bishop	USA Calif.	1982/09/26
Bushy Hill	USA Conn.	1982/06/05
Cameron	USA Idaho	1982/04/00
Canyon Lake	USA S-Dakota	1972/06/09
Cottonwood River	USA Minn.	1969/04/10
D.M.A.D.(Delta)	USA Utah	1983/06/23
East Lee	USA Mass.	1968/03/00
Howard	USA Idaho	1982/04/00
Kelly Barnes	USA Georgia	1977/11/00
Knife Lake	USA Minnesota	1972/00/00
Laurel Run	USA Penn.	1977/07/00
Lawn Lake	USA Colorado	1982/07/15
Lower Latham	USA Colorado	1973/00/00
Lower Memorial	USA Ohio	1969/07/05
Mercedes	USA Texas	1967/09/00
Mill Brook	USA Mass.	1966/00/00
Muddy Bayou	USA Miss.	1973/00/00
Norwalk	USA Ohio	1969/07/05
Sandy Run	USA Penn.	1977/07/00
Tater Hill	USA M-Carolina	1977/11/00
Upper Bond	USA Conn.	1982/06/05
Wheatland I	USA Wyoming	1969/07/14

* pour les barrages en construction,
hauteurs une fois terminés.

Tableau V. — Ruptures de barrages par zones géographiques (1964-1983).

Zones géographiques	Nombre de ruptures					Fréquence de ruptures ($H \geq 15$ m)	
	Total	$H < 15$ m	$H \geq 15$ m	$H \geq 15$ m sauf ruptures de vannes	$H \geq 15$ m sauf ruptures de vannes et barrages en construction	Toutes ruptures (nombre de rupture par nombre de barrages (1) et par an)	sauf barrages en construction et ruptures de vannes (nombre de rupture par nombre de barrages (1) et par an)
USA	38	22	16	15	11	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$
EUROPE	14	6	8	7	3	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$0,6 \cdot 10^{-4}$
AMERIQUE (sauf USA)	6	1	5	4	4	$1,5 \cdot 10^{-4}$ $(0,5 \cdot 10^{-4}$ au Japon)	$1,1 \cdot 10^{-4}$ $(0,25 \cdot 10^{-4}$ au Japon)
ASIE	12	-	12	11	9		
AFRIQUE	3	1	2	2	1		
TOTAL	73	30	43	39	28	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$

(1) Nombre de barrages évalué à partir de H.B. A.GOUBET p.476 (Nb de barrages de plus de 15 m en 1977)

Tableau VI. — Ruptures de barrages d'au moins 15 m (hauteur finale) pendant leur construction et leurs premières années (1964-1983).

Etat ou âge	Nombre de ruptures				Fréquence des ruptures (nombre par barrages construits (1))		
	Digues	Autres	Ruptures de vannes	Total	Digues	Autres	Total
En construction	11 (2)	-	1	12	1,9/1000	-	1,7/1000
Au 1er remplissage et pendant les 5 premières années	7 (3)	-	1	8	1,2/1000	-	1,1/1000
Au 1er remplissage et pendant les 10 premières années	9 (4)	1 (5)	2	12	1,6/1000	0,8/1000	1,7/1000

(1) Le nombre de barrage construit en 20 ans est évalué à 7 000 (H.B. A.GOUBET p.477) dont 5 800 digues (5 sur 6 d'après CIGB-DBR).

(2) 9 ruptures par submersion lors de crues et brèches, une par renard.

(3) 6 ruptures par renard et une par submersion de crue.

(4) de 6 à 10 ans : 1 rupture par submersion de crue et une par glissement de talus de la digue.

(5) Renversement d'un barrage-poids.

Tableau VII. — Ruptures de barrages par types d'ouvrages (1964-1983).

Types d'ouvrages	Nombre de ruptures				Evaluation du nombre de barrages d'au moins 15 m (en 1977)	Fréquences de ruptures ($H \geq 15m$) *	
	Tous barrages	$H < 15m$ *	$H \geq 15m$ *	$H \geq 15m$ sauf en construction		Toutes ruptures	sauf barrages en construction
Digues en terre	52	26	26	22	8 500	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$
Digues en enrochements	11	1	10	3 ⁽¹⁾			
Barrages-poids	3	2 ⁽²⁾	1 ⁽³⁾	1	4 200	$0,4 \cdot 10^{-4}$	$0,4 \cdot 10^{-4}$
Barrages à contreforts et voûtes multiples	2	1 ⁽⁴⁾	1 ⁽⁵⁾	1			
Divers	1	-	1 ⁽⁶⁾	1			
Ruptures de vannes	4	-	4	3			
TOTAL	73	30	43	31	12 700	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$

(1) 2 submersions par des crues et une par l'onde de rupture d'un barrage amont.

(2) 1 submersion par des crues et une érosion aval par une crue.

(3) renversement.

(4) rupture d'un contrefort.

(5) rupture de la fondation sous le barrage.

(6) barrage en bois et rocher submergé par une crue.

* pour les barrages en construction, hauteur une fois terminés

Tableau VIII. — Ruptures de barrages en service d'au moins 15 m par zones géographiques et par types d'ouvrage.

(barrages rompus par onde amont exclus)

Zones géographiques	Nombre de ruptures					Fréquence des ruptures			
	Digues	Barrage en béton ou maçonnerie	Barrages divers	Ruptures de vannes	Total	Digues	Barrage en béton ou maçonnerie	Barrages divers	Total
USA	9	0	1	1	11	$1,7 \cdot 10^{-4}$	0	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$
EUROPE	2	1	-	-	3	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$0,3 \cdot 10^{-4}$	-	$0,6 \cdot 10^{-4}$
AMERIQUE (sauf USA)	3	-	-	1	4	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$0,8 \cdot 10^{-4}$	-	$1,7 \cdot 10^{-4}$
ASIE	8	1	-	1	10				
AFRIQUE	1	-	-	-	1	$0,4 \cdot 10^{-4}$	0	-	$0,5 \cdot 10^{-4}$
(JAPON)	1			1	2				
TOTAL	23	2	1	3	29	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$0,3 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$

Tableau IX. — Age des barrages rompus (1964-1983).

Age ou état	Toutes hauteurs		H < 15 m		H ≥ 15 m	
	Nombre de ruptures	Proportion du total (%)	Nombre de ruptures	Proportion du total (%)	Nombre de ruptures	Proportion du total (%)
En construction *	12	17	0	0	12	29
1er remplissage	8	17	2	4	6	8
5 ans au plus	4		2		2	
de 6 à 10 ans	4	5,5	-	-	4	9,5
de 11 à 30 ans	11	15,5	2	7	9	22
plus de 30 ans	21	29,5	13	43	8	19,5
En service, âge exact inconnu	11	15,5	11	37	-	-
Total	71	100	30	100	41	100
inconnu	2	-	-	-	2	-

* pour les barrages en construction, hauteur une fois terminés.

Tableau X. — Digues — Causes des ruptures (1964-1983) — sauf ruptures de vannes.

Causes	Tous barrages		H < 15 m *		H ≥ 15 m *	
	Nombre de ruptures	Proportion du total (%)	Nombre de ruptures	Proportion du total (%)	Nombre de ruptures	Proportion du total (%)
Submersion par une crue et brèche	9 } 29 } 38	14 } 47 } 61	0 } 18 } 18	0 } 69 } 69	9 } 11 } 20	25 } 30,5 } 55,5
Submersion par onde de rupture d'un barrage amont	2	3	-	-	2	5,5
Erosion près du déversoir ou à l'aval de celui-ci lors d'une crue	3	5	2	8	1	3
Renard	10 } 4 } 14	23	3 } 2 } 5	19	7 } 2 } 9	25
Glissement de talus de la digue et brèche	5		1		4	
Total	62	100	26	100	36	100
Barrages en service :						
du fait de crues (submersion ou érosion)	32	65	20	77	12	52
par renards ou glissements	17	35	6	23	11	48
Total	49	100	26	100	23	100

* pour les barrages en construction, hauteur une fois terminés

Tableau XI. — Estimation du nombre de barrages en service d'au moins 15 m dans le monde (en 1977).

Zones géographiques	Digues	Béton ou maçonnerie	Divers	Total
USA	2 700	700	300	3 700
EUROPE	800	1 800	-	2 600
RESTE DU MONDE	5 000	1 400	-	6 400
(JAPON)	(1 200)	(800)	-	(2 000)
TOTAL	8 500	3 900	300	12 700

Tableau XII. — Nombre de ruptures ayant fait des victimes connues et nombre de victimes connues (1964-1983).

Pays	Ruptures							
	de digues en terre ou en enrochement		de barrages en béton ou en maçonnerie et divers		de vannes		Totaux	
	Nombre de ruptures	Nombre de victimes	Nombre de ruptures	Nombre de victimes	Nombre de ruptures	Nombre de victimes	Nombre de ruptures	Nombre de victimes
Inde	2	2 100					2	2 100
Indonésie	1	200					1	200
Colombie					1	80	1	80
Philippines	1	80					1	80
Espagne	1	40			1	30	2	70
USA	5	61					5	61
Argentine	1	25					1	25
Japon					1	1	1	1
Allemagne	1	1					1	1
Totaux	12	2 507	-	-	3	111	15	2 618
Nombre total de rupture (y.c celles sans victimes connues) et de victimes connues	63	2 507	6	0	4	111	73	2 618
Nombre de victimes par rupture		40		0		28		36

Tableau XIII
Nombre de ruptures (Nb)
ayant fait des victimes
connues
et nombre de victimes (N)
selon le type de rupture
et par pays
(1800-1983).

Pays	Ruptures								Total	
	de digues en terre ou enrochements		en béton maçonnerie et divers		d'ouvrages annexes (vannes)		autres (éboulement de retenue)		de barrages de nature inconnue	
	Nb	N	Nb	N	Nb	N	Nb	N	Nb	N
Inde	3	3 100	1	1 000	-	-	-	-	4	4 100
Italie	-	-	2	700	-	-	1	2 600	3	3 300
USA	17	2 573 (1)	5	541	-	-	-	-	25	3 128
Allemagne	1	1	2	1 268 (2)	-	-	-	-	3	1 269
Japon	-	-	-	-	1	1	-	-	1	1 201
Brésil	1	1 000	-	-	-	-	-	-	1	1 000
Espagne	1	40	2	752	1	30	-	-	4	822
France	1	4	2	521	-	-	-	-	3	525
Grande Bretagne	1	238	1	16	-	-	-	-	2	254
Algérie	-	-	2	219	-	-	-	-	2	219
Indonésie	1	200	-	-	-	-	-	-	1	200
URSS	1	145	-	-	-	-	-	-	1	145
Corée	1	120	-	-	-	-	-	-	1	120
Chili	1	100	-	-	-	-	-	-	1	100
Colombie	-	-	-	-	1	80	-	-	1	80
Philippines	1	80	-	-	-	-	-	-	1	80
Tchécoslovaquie	1	65	-	-	-	-	-	-	1	65
Argentine	1	25	-	-	-	-	-	-	1	25
Canada	1	1	-	-	-	-	-	-	1	1
Total	33	7 692	17	5 017	3	111	1	2 600	58	16 634
Ruptures recensées sans victimes	39	0	8	0	0	0	0	0	47	0
Nb de victimes par rupture recensée	72	107	25	200	3	37	1	2 600	105	158

(1) dont 2 187 pour South Fork, victimes de la crue et de la rupture

(2) bombardements

Tableau XIV
Évolution du nombre
de victimes
d'accidents
de barrages
au cours des années
depuis 1855.

Année	Nombre de victimes		Observations
1855 - 1860	0	238	612 de 1800 à 1805
1860 - 1865	238		néant de 1805 à 1855
1865 - 1870	1 200	1 343	
1870 - 1875	143		
1875 - 1880	0	209	
1880 - 1885	209		
1885 - 1890	2 307	2 441	
1890 - 1895	134		2 187 pour South Fork, crue incluse
1895 - 1900	115	123	
1900 - 1905	8		
1905 - 1910	0	81	
1910 - 1915	81		
1915 - 1920	1 096	1 696	1 000 à Tigra
1920 - 1925	600		600 à Gleno
1925 - 1930	467	469	
1930 - 1935	2		
1935 - 1940	101	1 369	bombardements
1940 - 1945	1 268		
1945 - 1950	0	0	
1950 - 1955	0		
1955 - 1960	565	2 835	dont Vajont : 2 600 morts
1960 - 1965	2 270		
1965 - 1970	333	358	
1970 - 1975	25		
1975 - 1980	2 216	2 260	2 000 à Macchuu II
1980 - 1984	44		

Sur des périodes de 5 ans

Moyenne 520 soit 100/an - écart type : 750

Tendance : $R^2 = 0,03$, croissance de 300 à 730 soit 60 par an à 150 par an

Sur des périodes de 10 ans

Moyenne 1 030 soit 100/an - écart type : 1 000

Tendance : $R^2 = 0,08$, croissance de 600 à 1 500 soit de 60 par an à 150 par an

Années de mise en service	Types de barrage							Total
	Digues en terre ou en terre et enrochement	Digues en enroche- ment	Poids (y. Poids- c. barra- ges mobi- les	Voûtes	Voûtes multi- ples	à con- trefort		
1600 - 1699	1							1
1700 - 1799			2					2
1800 - 1849	4		5					9
1850 - 1899	6	2	14		1			23
1900 - 1909	4		12					16
1910 - 1919			7		1	1		9
1920 - 1929			24		2	1		27
1930 - 1939	2	3	22		4	3		34
1940 - 1949	1	3	14	1	13	2	2	36
1950 - 1954	1	4	12	2	24	2		45
1955 - 1959	2	1	10		13	3	1	30
1960 - 1964	11	2	13		11		4	41
1965 - 1969	11	3	18	1	7	1	1	42
1970 - 1974	15	9	15		3	2	3	47
1975 - 1979	22	6	10		3	1	3	45
1980 - 1984 (1)	21	7	9		2	1	3	43
Total	101 digues : 141	40	187 en béton et maçonnerie : 309	4	84	17	17	450

Tableau XV
Barrages en service en France,
selon la définition CIGB
(répertoire à jour en 1982).

(1) selon prévision de mise en service après 1982.

Malpasset
Le « dièdre » rive gauche
Vu du versant R.D.

ANNEXE I

Distribution des accidents selon le nombre de victimes (1964-1983)

On distingue sur la *figure 1*, deux populations, l'une d'allure log-normale, l'autre d'allure normale. La première n'a pas été estimée, le nombre de classes étant trop faible. L'estimation de la population d'allure normale donne les résultats suivants :

Nombre = 11 — Moyenne : 4 — Ecart type : 1,57. Le test de Shapiro-Wilk est acceptable.

Cette moyenne correspond à $N = 55$. A $m - \sigma$ correspond $N = 12$ et à $m + \sigma$, $N = 270$. Aux fréquences faibles de dépassement correspondent les valeurs suivantes :

F	0,9	0,99	0,999	0,9999
N	420	2150	7100	19 000

Si l'on rapporte ces fréquences à la population totale d'accidents, environ 6 fois plus nombreuse environ que la population normale, on trouve :

F	0,9	0,99	0,999	0,9999
Fréquence de dépassement	10 %	1 %	1/1000	1/10000
N	38	650	2900	9000

Pour les seuls barrages d'au moins 15 m, la population totale d'accidents n'est que 4 fois plus nombreuse que la population normale et les fréquences deviennent :

F	0,9	0,99	0,999	0,9999
Fréquence de dépassement	10 %	1 %	1/1000	1/10000
N	100	950	3 900	11 000

Note : Nb : nombre d'accidents

N : nombre de victimes par accident

ANNEXE II

Distribution des accidents selon le nombre de victimes
(1800-1983)

A — Tous barrages

On distingue, sur la figure 3, deux populations, l'une d'allure log-normale, l'autre d'allure normale. Les estimations de ces deux populations donnent les résultats suivants :

Population log-normale

$NB = 68$ $m = 0,0524$ $\sigma = 0,55$
 $\text{Max} = -0,72$ ($N = 0,5$)

Le test du χ^2 est médiocre ($\chi^2 = 10,24$; α de l'ordre de 0,001).

Population normale

$NB = 36$ $m = 5,1$ $\sigma = 1,55$

Le test du χ^2 est correct ($\chi^2 = 0,6$; $\alpha = 0,90$)

Cette moyenne correspond à $N = 164$. A $m - \sigma$ correspond $N = 35$, à $m + \sigma$, $N = 770$. Aux fréquences faibles de dépassement correspondent les valeurs suivantes :

F	0,9	0,99	0,999	0,9999
N	1 200	5 800	19 000	50 000

Si l'on rapporte ces fréquences à la population totale d'accidents, environ 4 fois plus nombreuse que la population normale, on trouve :

Fréquence de dépassement

F	0,9	0,99	0,999	0,9999
	10 %	1 %	1/1000	1/10000
N	240	2 500	10 000	30 000

Note : Nb : nombre d'accidents

N : nombre de victimes par accident

B — Digues

La population log-normale ($Nb = 51$) n'a pas été estimée. La population normale ($Nb = 21$) a pour moyenne $m = 4,6$ ($N = 100$) et écart type $\sigma = 1,69$. Le test du χ^2 ($\chi^2 = 5,6$) et celui de Shapiro-Wilk sont médiocres. A $m - \sigma$ correspond $N = 19$ et à $m + \sigma$, $N = 550$. Les fréquences extrêmes, pour la seule population normale dont il est difficile de dire la part dans la population totale, sont les suivantes :

F	0,9	0,99	0,999	0,9999
N	900	5 200	19 000	54 000

Ces valeurs sont proches de celles obtenues pour tous les barrages mais elles ne leur sont pas directement comparables, certaines ruptures ayant été exclues (vannes, éboulements de rives, nature de barrage inconnue).

Figure 3. — Ruptures de barrages
(1800-1983)

(Annexe II - suite)

C — Barrages en béton et maçonnerie

La population est plus réduite. La population log-normale ($N_b = 11$) n'a pas été estimée. La population normale ($N_b = 14$) a pour moyenne $m = 5$ ($N = 150$) et écart type $\sigma = 1,67$. A $m - \sigma$ correspond $N = 28$ et à $m + \sigma$, $N = 780$. Le test de Shapiro Wilk est médiocre. Les fréquences

ces extrêmes pour la seule population normale, sont les suivantes :

F	0,9	0,99	0,999	0,9999
N	1 250	7 000	25 000	70 000

Cela donne des valeurs plus élevées d'environ 1/3 que les valeurs obtenues pour les digues. Les valeurs correspondantes à la médiane, à $m - \sigma$ et à $m + \sigma$ sont environ 50 % plus fortes.

Figure 4. — Accidents de barrages classés par nombres de victimes 1800-1983

Figure 5. — Accidents de barrages classés par nombre de victimes (1800-1983) et selon le type de barrage.