

COMMISSION INTERNATIONALE
DES GRANDS BARRAGES

VINGT SEPTIEME CONGRES
DES GRANDS BARRAGES
MARSEILLE, JUIN 2021

LA RUPTURE DU BARRAGE DE MALPASSET (FRANCE, 1959) : UN CAS EMBLEMATIQUE D'ACCIDENT ORGANISATIONNEL ? (*)

Justin LAROUZÉE

*Centre de recherche sur les risques et les crises, MINES ParisTech, PSL,
Université de Paris.*

Pierre DUFFAUT †

Comité français de mécanique des roches, Paris

*(Décédé le 12 septembre 2020 ; suppléé pour la finition du texte par B. Goguel,
ancien président du Comité Technique CIGB de la Surveillance des Barrages).*

1. INTRODUCTION

"Si quelqu'un est trop paresseux pour maintenir son barrage en bon état, et ne le garde pas ainsi ; si ensuite le barrage se brise et tous les champs sont inondés, alors il devra payer des dommages et intérêts" (Code d'Hammourabi, 1750 avant JC).

Après la Seconde Guerre mondiale, le développement de la Côte d'Azur nécessitait de plus en plus d'eau. Le département du Var recherchait des réservoirs capables de stocker suffisamment de pluies hivernales pour couvrir les besoins estivaux, y compris agricoles. Il allait devenir propriétaire du barrage-voûte de Malpasset, près de la ville de Fréjus. Cinq ans après la fin de sa construction, le 2 décembre 1959 au soir, le barrage de Malpasset rompt soudainement et libère une masse d'eau de 50 millions de m³ qui balaye la vallée puis la plaine côtière en aval jusqu'à la Méditerranée 14 km plus loin, faisant plus de 400 victimes (423 selon le bilan officiel). Cet événement catastrophique a conduit de nombreux gouvernements dans le monde à introduire de nouvelles réglementations sur la sécurité et la surveillance des barrages.

(*) *Malpasset dam failure (France, 1959): a typical case of organizational accident?*

Il peut être considéré aussi comme l'accélérateur de deux nouveaux domaines : la géologie de l'ingénieur¹ et la mécanique des roches².

La rupture du barrage de Malpasset a longtemps été considérée comme un échec technique situé entre des considérations géologiques et d'ingénierie. Bien que d'une certaine manière vraie, cette affirmation occulte d'autres aspects importants. En effet, si le *mécanisme* de défaillance est technique, la plupart de ses *causes profondes* doivent être recherchées dans les aspects humains et organisationnels du projet. Cette communication propose une relecture du cas Malpasset à travers la théorie des accidents organisationnels développée dans les années 1980 et 1990 (e.g. Reason, 1997). La première partie décrit le site, le projet de barrage, sa réalisation et son exploitation jusqu'à la rupture ; la deuxième présente brièvement la théorie des accidents organisationnels ; la troisième partie détaille les différentes défaillances humaines et organisationnelles qui ont plus ou moins directement contribué à la rupture du barrage.

2. PROJET, CONSTRUCTION ET RUPTURE DU BARRAGE

De tous les ouvrages faits de main d'homme, les grands barrages sont parmi les plus meurtriers, lorsqu'ils se retournent contre lui (Coyne, 1943).

De très nombreuses publications techniques ont décrit et traité l'accident de Malpasset. La dernière en date, resserrée en 6 pages, se trouve en annexe de la version anglaise du Bulletin 180 de la CIGB (Goguel B., 2018). Rappelons aussi (Mary, 1968) et, en bilingue, 8 pages dans le livre (ICOLD-CIGB, 1974). Mentionnons surtout (Londe, 1987), (Post et Bonazzi, 1987), et (Carrère, 2010). D'autres éléments éclairants sur l'histoire du projet, l'épisode pluviométrique du 27 novembre au 2 décembre 1959, la crue et l'onde de rupture, ainsi que les suites de la catastrophe, sont présentés par (Boudou, 2015).

¹ *Le Comité français de géologie de l'ingénieur (CFG I) fut fondé en 1968, comme branche française de l'association internationale (AIGI) fondée en 1964. Il s'est ensuite ajouté "et de l'environnement".*

² *Ces mots apparaissent en France dès 1957 avec le livre de Talobre, bien après l'achèvement du barrage. Le Comité français de mécanique des roches (CFMR) fut fondé en 1967, la société internationale de mécanique des roches (ISRM) en 1962 à Salzburg ; elle tint son premier congrès à Lisbonne en 1964.*

La mécanique des roches apparaîtra à la CIGB avec les Questions 28 (1964) et 33 (1967), avant de donner lieu à un Bulletin technique spécial, sans numéro, sous les auspices conjointes ISRM-ICOLD, rédigé par Pierre Londe, intitulé : La mécanique des roches et les fondations des grands barrages (1973). Mis à jour en 1993 sous le titre Bulletin 88 – Fondations rocheuses de barrages (Rock foundations for dams), par Pierre Londe Pdt honoraire de la CIGB, et Yves Le May du CFGB.

2.1 SITE DE CONSTRUCTION

A 12 km en amont de la ville de Fréjus, le Reyran, petite rivière méditerranéenne au régime très irrégulier, a creusé une gorge épigénétique dans un horst gneissique en amont duquel s'ouvre une large dépression dans des terrains plus tendres du carbonifère (Fig. 1). Ce resserrement de la vallée semblait commode pour y construire un barrage voûte (Fig. 2) assez économique pouvant stocker 50 millions de m³.

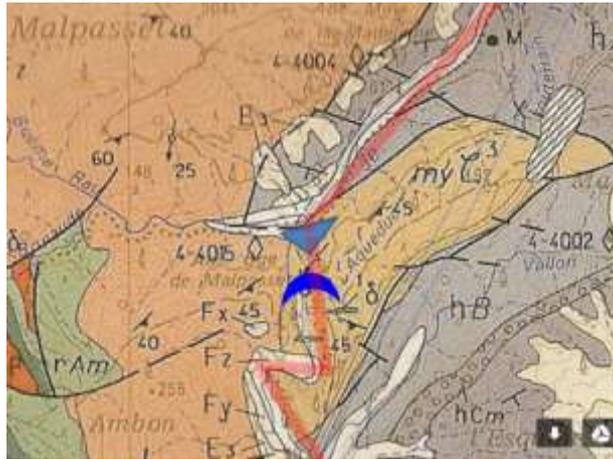


Fig. 1 Extrait de la Carte géologique de la France, feuille Fréjus-Cannes, avec la position de deux projets initialement considérés : un barrage-poids à l'entrée de la gorge, au Nord, et un barrage-voûte à proximité en aval. En brun les gneiss, en gris le carbonifère (houiller).

Part of the French Geological Map, sheet Fréjus-Cannes, with two locations originally considered: a gravity dam at the gorge entrance, North, and an arch dam at short distance downstream of it. Gneiss in braun, carbonifer in grey (h).



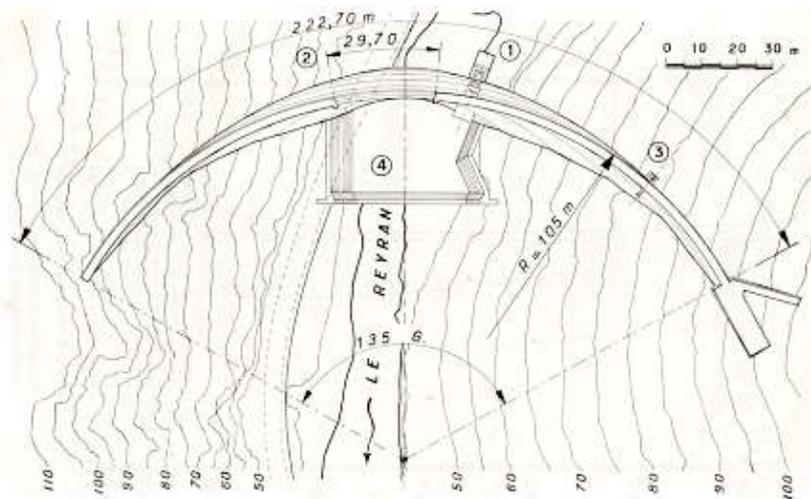
Fig. 2 Vue d'aval du barrage de Malpasset à la fin de sa construction : la culée apparaît à droite (en rive gauche), le déversoir de crues à seuil libre au centre (photo ACJB, été 1954).

Downstream view of Malpasset dam at the end of construction, with a non-gated crest spillway in the middle and L/B gravity thrust block on the right.

2.2 PROJET DE BARRAGE

Des études géologiques ont établi l'étanchéité du réservoir ; quelques forages ont permis de vérifier que l'épaisseur des alluvions sous le lit du Reyran était inférieure à 4 mètres ; sur les deux versants de la vallée, la roche apparaissait presque partout, un gneiss sillonné de lentilles et de dykes de pegmatite, que l'on pensait assez solide pour servir de fondation à un barrage. La conception a été confiée à l'éminent ingénieur André Coyne et à son bureau d'études³. Coyne s'était imposé comme un maître dans la conception de barrages voûtes depuis Marèges dans le Massif Central, 20 ans auparavant ; puis de nombreux autres dont Castillon et Tignes dans les Alpes, chacun ayant été l'un après l'autre le plus haut barrage-voûte d'Europe. Il avait été président de la CIGB (Commission Internationale des Grands Barrages). En ouvrant un symposium sur les barrages-voûtes (Coyne, 1956), il avait souligné qu'aucune défaillance de barrage-voûte n'avait jamais été signalée, contrairement à tous les autres types de barrages.

Au lieu du barrage-poids envisagé en premier lieu, Coyne a conçu un barrage-voûte à double courbure, ressemblant à beaucoup de barrages similaires construits à cette époque. Il en a personnellement choisi la position exacte, soigneusement ajustée aux détails topographiques des flancs de la vallée ; en rive gauche, la crête butait sur une culée poids classiquement protégée de la poussée directe de l'eau par un mur « en aile » (Fig. 3).



³ André Coyne et Jean Bellier (ACJB), fondé avec son gendre en 1947. Il avait été auparavant Chef du Service Technique des Grands Barrages au Ministère de l'Industrie, où il s'était illustré en concevant et construisant le barrage voûte de Marèges (H 90 m, 1935), et vice Pdt de la CIGB en 1936. Il fut président de la CIGB de 1946 à 1952 (date de l'achèvement de sa grande voûte de Tignes, H 180 m), et conçut ensuite le grand barrage voûte de Kariba sur le Zambèze (achevé en juillet 1959).

Fig. 3 Vue en plan. L'extrémité rive gauche s'appuie sur une culée protégée de l'eau par un mur en aile. 1 Vidange de fond, 2 Evacuateur de crues à seuil libre, 3 Prise d'eau d'irrigation, 4 Tapis de réception des eaux.

*Plan view, with left abutment thrust block (protected from water by a wing wall).
1 Bottom outlet. 2 Free crest spillway. 3 Irrigation intake. 4. Spillway apron.*

2.3 CONSTRUCTION

L'entreprise chargée de la construction était expérimentée et renommée, associée à un entrepreneur local. Tous les travaux d'injection ont été confiés à un spécialiste reconnu.

Le barrage était constitué de 16 plots séparés par 15 joints verticaux, avec en outre deux plots plus massifs pour la culée poids en haut de la rive gauche. Afin de laisser un passage pour l'écoulement de la rivière pendant les travaux de construction, la base du joint central (H) a été élargie. Il n'y avait pas eu besoin de creuser de galerie de dérivation. Une vanne de fond (diamètre 1,5 m, débit env. 40 m³/s) devait permettre de contrôler le niveau du réservoir (placée sur le côté rive gauche du fond de vallée, à la base du plot IJ). Le béton était régulièrement contrôlé. Les travaux de construction se sont déroulés pendant deux ans sans problème, hormis quelques retouches aux excavations.

Durant l'été 1954, le tapis de protection situé sous le déversoir a été bétonné et les grues ont été retirées. Aucun autre contrat de surveillance ou d'entretien n'a, dès lors, été confié au concepteur. Une conduite en béton a été posée en direction de Fréjus, mais faute d'argent, le réseau de distribution n'a jamais été achevé (voir à ce sujet 4.2.2.).

2.4 REMPLISSAGE DU RESERVOIR ET RUPTURE DU BARRAGE

Le joint élargi a été bétonné le 22 avril 1954, ce qui a permis de commencer le remplissage du réservoir. La figure 4 montre l'évolution de son niveau à partir de cette date. Des retards dans l'achat de terres en amont et le régime irrégulier du Reyran ont retardé le remplissage complet, de sorte que seule une réception temporaire de l'ouvrage a été faite en août 1956. Le niveau du réservoir a augmenté progressivement chaque automne, jusqu'à fin novembre 1959 où des pluies soutenues et intenses (Boudou, 2015) ont fait monter le niveau de façon rapide. A la mi-novembre, des fuites étaient apparues en haut de la rive droite ; la décision a été prise de maintenir la vanne de fond fermée, pour ne pas perturber le chantier d'un pont autoroutier, situé à environ 1 km en aval du barrage. Les 4 derniers mètres du réservoir ont été remplis en moins de 3 jours. Le 2 décembre, vers 18 heures, la vanne de fond a finalement été ouverte après discussion entre les responsables du barrage et du chantier du pont, devant l'imminence d'un déversement par l'évacuateur de surface ; lequel

n'est jamais survenu (il s'en est fallu de quelques décimètres), le barrage a rompu à 21h14.

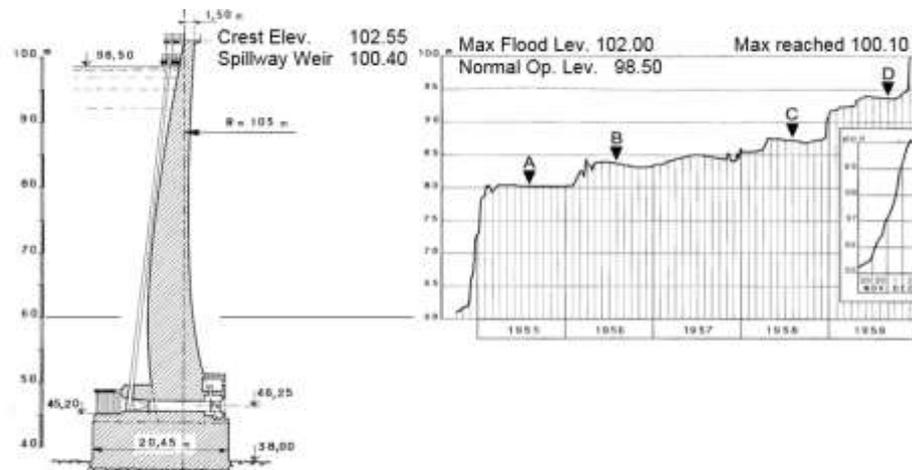


Fig. 4 Coupe radiale en clé avec niveaux principaux, et courbe du remplissage avec dates des mesures topographiques de contrôle (A, B, C, D), commencées seulement à 34/64 = 62% du remplissage (A), ce qui correspond à $(0,62)^3 = 24\%$ de la poussée totale sur la voûte). Encart : niveau sur les 4 derniers jours.

Crown section with main levels, and impounding graph. Geodetic measurements (A, B, C, D) started at 34/64 = 62% of impounding, which corresponds to $(0,62)^3 = 24\%$ of the total thrust on the dam. Box : 4 four last days of reservoir rise.

Le bilan humain de la catastrophe est de 423 morts et disparus, et environ le même nombre de blessés et/ou de personnes affectées (traumas, chocs). En plus des victimes humaines, on compte environ un millier de têtes de bétail, des milliers de bâtiments, de voitures et de camions endommagés ou détruits. La rupture du barrage de Malpasset est le deuxième accident industriel le plus meurtrier du XX^{ème} siècle en France (après l'explosion de poussière dans la mine de Courrières, en 1902).

3. DE LA DÉFAILLANCE TECHNIQUE À L'ACCIDENT ORGANISATIONNEL

De nombreuses études techniques et scientifiques ont été conduites après la rupture pour tenter d'en comprendre l'origine (observations de terrain, sondages, galeries, mesures géotechniques, essais en laboratoires, etc.). Trois commissions d'enquête successives sont intervenues, la première formée par le ministre de l'Agriculture pour déterminer les causes de la catastrophe⁴, les deux autres pour l'action judiciaire, impliquant au total dix-neuf experts.

⁴ Cette Commission Administrative d'Enquête, créée le 5 décembre 1959, ne comportait aucun géologue ! Elle s'est assurée le concours du Professeur Jean Goguel (1908-1987), directeur du service de la Carte géologique de la France. Il fut le premier président du Comité français de Géologie de l'Ingénieur, créé en 1968.

Avec le recul, le processus de rupture peut être schématiquement décrit comme suit :

- i. La compression exercée par le barrage a imperméabilisé la roche de fondation dans la direction de la poussée en rive gauche, qui y était particulièrement sensible vu son orientation structurale ; constituant alors une zone étanchée fonctionnant comme un véritable prolongement souterrain du barrage, sur lequel s'est appliquée la charge hydraulique du réservoir. La déformabilité du massif d'appui a pu aussi favoriser l'ouverture d'une « fissure amont » (verticale), et la pénétration de l'eau.
- ii. Il n'y avait à l'époque aucun rideau de drainage profond, et les sous-pressions hydrauliques dans les appuis rocheux étaient ignorées.
- iii. Une faille remontant vers l'aval a favorisé l'expulsion par glissement (vers la vallée et vers le haut) d'un grand coin rocheux en rive gauche, qui a emporté la base des cinq plots de rive gauche jusque sous la culée, en laissant une cicatrice en forme de dièdre.
- iv. La voûte gravement amputée concentre alors toutes ses poussées d'arcs sur la culée d'extrémité en haut de la rive gauche, qui recule de 2 mètres.
- v. La partie intacte de la voûte essaye de suivre, amorçant une rotation d'ensemble autour de la rive droite, en ouvrant une large « fissure amont » verticale, entre le rocher amont et la base du barrage (crevasse dont l'ouverture atteint plus d'un demi-mètre en fond de vallée).
- vi. L'arc supérieur, dont les deux appuis se sont éloignés, casse en deux vers son milieu par flexion / flambement.
- vii. La moitié droite de la voûte, désormais seule, avec un profil poids insuffisant, bascule ; peut-être en bloc mais plus probablement en commençant par les plots les plus insuffisants c'est-à-dire les plots centraux.
- viii. L'ouvrage éclate, ne laissant subsister que la partie basse des plots de la rive droite et du centre (jusqu'au joint K, et donc comprenant le plot IJ de la vidange de fond).
- ix. Le premier plot de la culée rive gauche (PQ) tombe alors dans le dièdre.

La rupture fut soudaine, quasi explosive (en deux temps), et complète.

Rien n'était pourtant apparu d'anormal à la dizaine de personnalités réunies au pied du barrage dans l'après-midi du même jour pour délibérer sur les dispositions à prendre avant le prochain déversement.

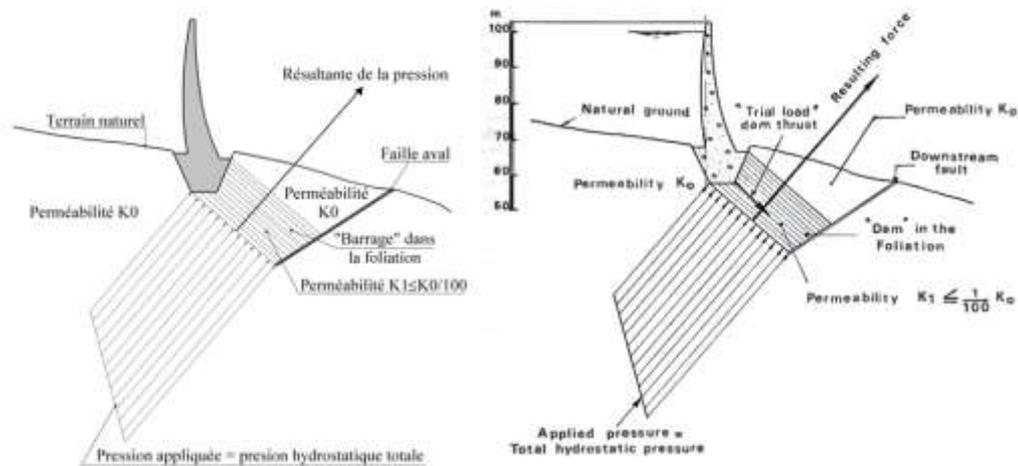


Fig. 5 Coupe radiale du barrage et des fondations à mi-hauteur de la rive gauche : la pression hydrostatique totale sur le « barrage souterrain » a poussé le dièdre vers le haut le long de la faille aval (CFBR, 2009).

Dam and foundation radial cross section at mid height of the left bank: the total hydrostatic pressure on the « underground dam » has uplifted the dihedral along the downstream fault (ICOLD, 1974)

Si la rigueur scientifique des experts a permis d'identifier les « pièges » de la nature (Duffaut, 2013) et de reconstituer le processus de rupture très succinctement décrit ci-dessus, il convient de distinguer le mécanisme et les causes d'une catastrophe. Ce que nous tenterons d'exposer ci-après est que la rupture de Malpasset peut (et doit) aussi s'entendre en lien avec la capacité des organisations humaines à créer en leur sein les conditions intrinsèques d'accidents. Non reconnus dans les années 1950 et 1960, les *Facteurs Organisationnels et Humains* (FOH) ont, depuis, fait l'objet de nombreux travaux dans le domaine des cindyniques (les sciences du risque, ou *Safety Studies* en anglais)⁵.

Cette section propose un bref historique des études sur les FOH⁶ (3.1) et présente l'un des modèles d'accidents organisationnels, aujourd'hui encore, les plus populaires (3.2).

3.1 UN BREF HISTORIQUE DES ETUDES DE SECURITE

Depuis la révolution industrielle, la préoccupation de sécurité s'est cantonnée aux approches techniques : les efforts des ingénieurs concepteurs et

⁵ *Distinctes des Etudes de Danger, ou Hazard Studies.*

⁶ *Pour plus de détails sur l'évolution des réflexions et approches des accidents, voir Guarnieri et al. (2008).*

des chargés de maintenance devant assurer la fiabilité (*technique*) des systèmes. La variabilité des individus est certes rapidement identifiée comme un facteur d'accident (Heinrich, 1936), mais on essaie alors de rationaliser et de contraindre les comportements (pensons au « *one best way* »). Ce n'est qu'au lendemain de la Seconde Guerre mondiale que le « *facteur humain* » est défini comme un sujet d'investigation scientifique. L'effort de guerre, notamment économique, a en effet rendu délicat les changements techniques (optimisation) ou organisationnels (rationalisation), orientant dès lors les efforts d'optimisation vers les notions de *performance* notamment par la *formation* des opérateurs.

Après-guerre, des ingénieurs et des ergonomes, s'intéressent à l'Homme et son interaction avec la machine (c'est la naissance du concept d'*Interface Homme-Machine*), ils fondent en 1958, aux États-Unis, la *Human Factor and Ergonomic Society*. Très rapidement naissent les toutes premières méthodes de quantification et de prédiction des erreurs humaines (Swain, 1963).

Une série d'accidents majeurs survient entre la fin des années 1970 et la fin des années 1980 (notamment les accidents nucléaires de Three Mile Island, 1979 et de Tchernobyl, 1986) ; elle va amorcer un profond changement de paradigme : du *facteur humain*, axé exclusivement sur les actions et les erreurs de l'opérateur, on évolue vers une approche *organisationnelle*. Le concept d'accident organisationnel, proposé par le psychologue britannique James Reason (1990, 1997) sera progressivement (et très largement) adopté au cours des années 1990.

La théorie de l'accident organisationnel ne considère plus l'erreur de l'opérateur comme la cause première de l'accident mais comme la conséquence d'un ensemble de facteurs systémiques (voir 3.2). Elle ouvre ainsi le champ d'investigation de la psychologie vers d'autres sciences humaines telles que la sociologie ou l'anthropologie et de nouveaux concepts émergent (e.g. l'ingénierie de la résilience, la culture de sécurité, les organisations hautement fiables).

Dans la section suivante, nous présentons plus en détail la théorie organisationnelle des accidents de James Reason et son modèle d'accident le plus populaire : le modèle du fromage suisse.

3.2 LE MODELE D'ACCIDENT DU FROMAGE SUISSE

*« Les catastrophes majeures dans les systèmes de défense sont rarement, voire jamais, causées par un seul facteur, qu'il soit mécanique ou humain »
(Reason, 1990 ; p.768)*

James Reason débute une carrière de psychologue, à la fin des années 1960, comme spécialiste des *erreurs quotidiennes* (e.g. les lapsus, les défauts d'attention). Ses travaux l'amènent à proposer une taxonomie qui distingue les erreurs actives et latentes (Reason, 1990). Afin de démontrer les rôles respectifs des deux types d'erreurs dans l'étiologie des accidents, Reason utilise une

métaphore : celle des agents pathogènes du corps humain. Selon cette métaphore, les accidents industriels sont comparables aux cancers ou aux crises cardiaques, n'étant pas le résultat d'une cause unique mais d'une combinaison de plusieurs facteurs ; chacun étant nécessaire mais non-suffisant pour mettre en défaut les défenses du système immunitaire (et, par analogie, celles d'un système industriel). Il s'ensuit que : (1) la séquence d'accident est ancrée dans les processus organisationnels (e.g. planification, conception, communication, maintenance) ; (2) les défaillances latentes ainsi créées produisent des effets délétères dans différentes structures organisationnelles (e.g. départements, services, équipes) et ont finalement un impact sur les environnements de travail locaux où elles créent des « conditions locales » (e.g. fatigue, problèmes techniques, manque de communication, objectifs contradictoires) ; (3) ces « conditions locales » augmentent non seulement la probabilité d'erreurs, mais affectent également l'intégrité et l'efficacité des défenses du système (Fig. 6).

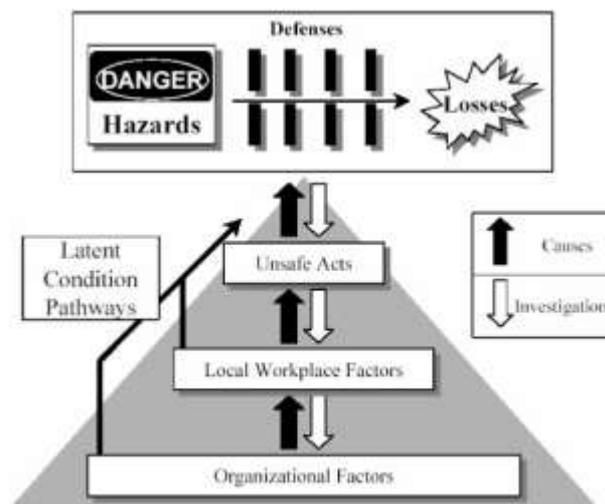


Fig. 6 L'accident organisationnel selon James Reason. Dans la partie supérieure, une séquence simple : chaque accident implique la défaillance des défenses du système. Dans la partie inférieure, un processus plus complexe décrit comment, où et pourquoi ces défenses peuvent être altérées (Reason, 1997).

Organizational accident as explained by James Reason. In the upper part, a simple sequence: each accident involves the failure of the system's defenses. In the lower part, a more complex process describes how, where and why those defenses may be altered (Reason, 1997).

Une version simplifiée de ce modèle sera publiée en 2000 et deviendra le modèle d'accident le plus largement utilisé, commenté et cité dans la communauté des *Safety Studies* (Larouzee & Le Coze, 2020).

Ce modèle est basé sur une nouvelle analogie : les barrières de sécurité d'un système (qu'elles soient techniques, humaines ou organisationnelles) sont comparées à des tranches de fromage suisse (Fig. 7). Le modèle a donc

rapidement été désigné comme « modèle du fromage suisse » ou *Swiss cheese model*. Dans chaque tranche, les trous représentent les faiblesses des défenses (il faut faire l'effort d'imaginer que ces trous sont « dynamiques », qu'ils se déplacent, s'ouvrent ou se ferment au gré de la vie de l'organisation : contexte économique, décisions de direction, audits, plans de maintenance, forme d'un individu, etc.). Des trous peuvent être ouverts tant par des conditions *latentes* que par des *erreurs actives* de l'opérateur. Dans tous les cas un accident ne se produit que lorsque les trous se trouvent alignés par une combinaison (souvent improbable) de plusieurs facteurs.

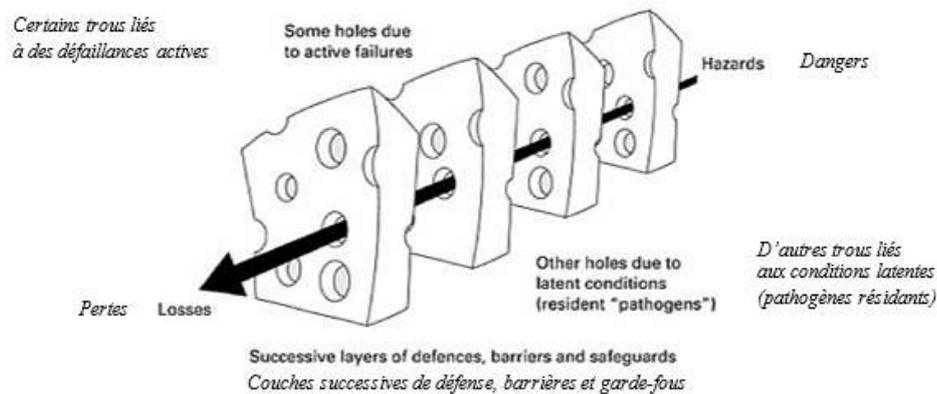


Fig. 7 Le modèle dit du Fromage Suisse où chaque tranche de fromage représente une défense altérée d'un système sociotechnique (Reason, 2000)

The Swiss Cheese model of accidents, where each slice of cheese represents an altered defense of a sociotechnical system (Reason, 2000)

Nous avons consacré cette section à situer historiquement et brièvement décrire la théorie de l'accident organisationnel. Dans la section suivante, nous allons essayer de montrer que l'accident de Malpasset peut être considéré comme un accident fondamentalement organisationnel (dans le sens où il ne procède d'aucune *erreur active*).

4. UNE HISTOIRE NON TECHNIQUE DE LA RUPTURE DE MALPASSET

Cette section se concentre sur un ensemble de faits non-techniques (des *facteurs organisationnels*), en jeu dans la rupture de Malpasset (chacun nécessaire mais non-suffisant). Faisant écho à la mise en garde de James Reason (1997) contre la tentation de remonter toujours plus loin dans la recherche de conditions latentes, nous commençons par poser les bornes temporelles de notre approche (4.1). La rupture du barrage n'est consécutive à aucune action humaine individuelle (erreur active) et la justice a d'ailleurs conclu que « aucune faute n'a été commise, à aucun stade » ; pour autant, il serait réducteur et trompeur d'attribuer la catastrophe à la seule fatalité ou aux limites des connaissances techniques de l'époque. Si les *facteurs organisationnels* n'ont

pas été reconnus ou, du moins, nommés comme tels lors des commissions d'enquêtes, il est aujourd'hui possible de les identifier (4.2). Ce qui anime notre démarche n'est donc pas de discuter le jugement qui a été rendu, mais de discuter explicitement du rôle de ces *facteurs organisationnels* afin de contribuer à la prévention de tels accidents à l'avenir (4.3).

4.1 JUSQU'OU REMONTER DANS LA RECHERCHE DES CAUSES ?

Face à l'engouement qu'a généré son travail, James Reason a tardivement donné deux précieuses directives pour la conduite d'enquêtes post-accident. (1) Tout d'abord, il a averti que « *nous sommes probablement allés trop loin dans la recherche des erreurs et contributions aux accidents, vers des faits très éloignés dans le temps et dans l'espace des événements eux-mêmes* » (Reason, 1997 ; p. 234). (2) Il rappelle la nécessité de « *se concentrer sur ce que l'on peut gérer et/ou changer [change or manage]* » (*ibidem*).

En réponse à sa remarque, nous avons défini *a priori* les limites temporelles de notre approche. Le point de départ que nous avons retenu est la décision du *Conseil général du Var* de 1946 de collecter et d'étudier des projets visant à répondre aux besoins d'approvisionnement en eau dans la région de Fréjus. Le point final est fixé le 2 décembre 1959, au moment où le front de l'onde de submersion a atteint la mer Méditerranée, 20 minutes après la rupture du barrage ; en effet, pendant ces 20 minutes, il était encore (au moins *théoriquement*) possible d'activer des barrières de protection⁷ pour réduire l'impact de l'onde de submersion (e.g. alerte et déplacement de populations). Nous soulignons d'ores et déjà qu'aucune barrière de protection de ce type n'a été activée à Malpasset, pour cause, de telles barrières (plan d'alerte ou d'évacuation) n'existaient pas à l'époque.

En réponse à la deuxième remarque, nous proposons de distinguer dans les facteurs organisationnels que nous présentons comme *causes* de l'accident (1) les causes fortuites et (2) les causes induites. Cette distinction recentre la question sur la « possibilité d'agir » plutôt que sur le « bien-fondé » d'une action, d'une non-action ou d'une décision (tableau 1).

⁷ Les barrières de protection ou de mitigation sont activées après l'événement pour en diminuer les impacts. Elles sont à distinguer des barrières de prévention destinées à empêcher son apparition.

Tableau 1. *Taxonomie des défaillances distinguant les causes « induites » et « fortuites ».*

	Définition	Exemples génériques
Cause fortuite	<p>Une cause fortuite renvoie à des événements situés en dehors du champ d'action des acteurs impliqués et indépendants de leurs décisions.</p> <p>Une cause fortuite est absolument indépendante de la volonté des acteurs considérés.</p>	<p><i>Pluie abondante, décisions politiques (si l'on considère un acteur situé au niveau opérationnel), ...</i></p>
Cause induite	<p>Une cause induite renvoie à des événements situés dans le champ d'action des acteurs impliqués. Cette qualification mobilise la notion de libre arbitre, possibilité de faire autrement.</p> <p>Une cause induite est dépendante des acteurs considérés, relevant d'un choix, ou d'une action.</p>	<p><i>Absence de réponse à une question ou une demande, choix d'allocation de budgets (si l'on considère un acteur situé au niveau décisionnel), persévérance dans une action ayant généré des alertes ou soulevé des réserves ou objections, ...</i></p>

4.2 MALPASSET : UN ACCIDENT « STRICTEMENT » ORGANISATIONNEL ?

Dans ce qui suit, nous n'avons pas l'intention de fournir un autre compte rendu chronologique détaillé des faits (pour cela, le lecteur peut utilement se référer au travail de Foucou, 1978)⁸. Cette section vise à isoler, caractériser et commenter les actions ou décisions humaines qui ont contribué à la catastrophe. Dans la métaphore du *Swiss cheese model*, chaque élément ci-après peut être considéré comme un trou dans une tranche voire comme l'absence totale d'une tranche (c'est-à-dire d'une défense, Fig. 7). Si les défaillances présentées ci-après sont des « défaillances humaines » (qui ne sont pas, par exemple, la faille géologique ou la sensibilité à la compression de la perméabilité de la roche), cela ne signifie pas qu'elles sont des défaillances *individuelles*. Certaines le sont, d'autres peuvent relever de l'*organisation* ou même du contexte *social* ou *économique*.

4.2.1. *Études géologiques : les géologues, humains avant tout*

Bien en amont du chantier de construction (et *a fortiori* de la rupture), il est déjà possible de souligner que le géologue qui a été consulté pour les études d'avant-projet, le professeur Corroy, de l'université de Marseille (France), était un expert en géologie méditerranéenne mais n'avait aucune expérience spécifique en matière de barrages. Il a probablement été choisi en raison de sa proximité

⁸ Les autres sources utilisées dans cette partie sont Foucou (1978), Valenti & Bertini (2003), Moine (2009), Duffaut (2010a, 2010b, 2011), Boudou (2015).

géographique avec le site du barrage. Il s'ensuit que son étude était basée sur un raisonnement en termes d'étanchéité du réservoir et de risques d'instabilité de la structure. Par manque d'expérience spécifique, le géologue n'a raisonné que sur une partie du problème.

En 1949, le projet de barrage initial a été modifié par le Bureau ACJB (voir 1.2). Consulté uniquement par courrier, le professeur Corroy donne, en 1950, son accord écrit pour déplacer le site du projet de 200 mètres vers l'aval, considérant que l'ancrage ne présenterait « *a priori* » (sic) aucune autre difficulté (cité par Foucou, 1978). La décision de déplacer l'ouvrage et d'en changer le type était motivée par des raisons techniques et financières ; elle permettait de construire un barrage-voûte (plus économique et esthétique) au lieu d'un barrage-poids et d'augmenter le volume du réservoir. Or, cette décision prise sans étude géologique complémentaire, a conduit à situer aveuglément l'ouvrage juste au-dessus du dièdre fatidique⁹.

Enfin, même s'il est constaté que les roches des appuis rive gauche sont très dégradées, rien n'a été fait pour les consolider. Même constat lors de l'excavation des roches durant les travaux, des gneiss très dégradés sont rencontrés mais aucune action corrective n'a été entreprise. Dans l'ensemble, la surveillance géotechnique n'a jamais permis de tirer le signal d'alarme.

Tableau 2. Synthèse des défaillances humaines liées à la géologie

Défaillance	Origine	Catégorie	Type
Choix du professeur Corroy, géologue non spécialisé dans les barrages (choisi pour sa proximité)	Organisation	Décision Gestion des compétences	Induite
Décision d'André Coyne de déplacer le site du barrage et de construire un barrage-voûte au lieu d'un barrage-poids (avec une simple consultation par courrier du géologue)	Individu	Décision Excès de confiance Communication	Induite
Accord sur le site du nouveau barrage par Georges Corroy (sans autre enquête de terrain)	Individu	Communication Perception du risque	Induite
Absence de travaux de confortement après l'excavation de la roche et pendant la construction	Organisation	Perception du risque	Induite

⁹ Ce qui aurait été sans conséquence si le rocher n'avait pas été aussi sensible à l'étanchement sous contrainte.

Certes, l'étude géologique initiale était incomplète, notamment car les connaissances de l'époque étaient limitées. Toutefois, le déplacement du barrage sans véritable dialogue de coordination entre l'ingénieur de projet et le géologue, ni aucune étude de terrain complémentaire, comme le fait de commencer la construction sans confortement, apparaissent comme des décisions prises sans filet de sécurité. De telles décisions impliquent également l'acceptation d'opérer « à l'aveugle ». On souligne ici une mauvaise communication entre l'ingénieur projet et le géologue et globalement une mauvaise appréciation ou perception des risques (imputable au manque d'expérience spécifique du géologue et probablement à une confiance excessive de l'ingénieur de projet dans les barrages-voûtes).

4.2.2. *Le budget : un facteur externe aux effets internes*

Le manque d'attention portée aux études géologiques apparaît encore plus surprenant lorsque l'on sait que sur les 27 millions de francs prévus à l'origine pour les études géologiques, seuls 8 millions ont été dépensés. Ce n'est donc pas la pression économique qui peut (directement) expliquer les manquements exposés dans la sous-section précédente (4.2.1) ; mais peut-être celle du temps, à une époque où l'inflation érode vite les budgets alloués. Cependant, des considérations budgétaires ont indéniablement pesé sur le projet.

Le coût total du barrage, avec ses principaux réseaux d'alimentation en eau potable et d'irrigation, a représenté un effort financier important pour le département du Var. Dans un contexte de reconstruction d'après-guerre, le projet s'inscrivait dans un plan financier ambitieux du *Commissariat Général aux Plans*, de sorte que le département devait recevoir des subventions du Ministère de l'Agriculture (pour le barrage, et le réseau d'irrigation), du ministère de la Défense (pour l'alimentation en eau de la base militaire de Fréjus Saint-Raphaël) et du ministère de l'Intérieur et de la Reconstruction (pour le réseau d'eau potable). Cependant, au cours des années 1950, une période d'inflation monétaire faisait perdre au franc environ 10 % de sa valeur par an. Cette dévaluation de la monnaie a sans doute poussé les acteurs du projet, notamment le bureau ACJB, à terminer les travaux dans les meilleurs délais afin de ne pas trop subir les effets de la dévaluation. Cette pression économique peut aussi éclairer le choix de construire un barrage-voûte (plus économique) et l'absence de réalisation de certaines études ou travaux. Les ressources financières ont également diminué après la construction du barrage parce que le financement des ministères de la Défense et de l'Intérieur n'a finalement pas été obtenu. En conséquence, le réseau d'irrigation n'aura jamais été opérationnel (la branche principale du système d'approvisionnement en eau ayant été reçue bien plus tard que prévu

au cours de l'année 1959 et les réseaux secondaires n'ayant jamais été installés)¹⁰.

Tableau 3. *Synthèse des effets de l'environnement budgétaire sur les acteurs*

Défaillance	Origine	Catégorie	Type
Utilisation de 8 des 27 millions de francs prévus pour les études géologiques	Organisation	Appréciation du risque	Induite
Période de reprise économique (plan ambitieux du Commissariat Général aux Plans) Mais inflation monétaire importante menaçant les crédits du projet	Ecosystème	N/A	Fortuite
Diminution des ressources financières après la construction du barrage (suite aux retraits des financements des ministères de l'Intérieur et de la Défense)	Ecosystème	N/A	Fortuite

Bien que les défaillances liées aux aspects budgétaires soient le plus souvent *fortuites*, il est important de noter que les facteurs liés à l'écosystème et au contexte (dans ce cas, le contexte national de reprise économique puis d'inflation monétaire) exercent une influence non négligeable sur le projet (à travers les choix et arbitrages des acteurs).

4.2.3. *Gestion de projet : des humains à la manœuvre*

Nous avons écrit que tels ou tels éléments avaient pu « *influencer le projet* » ; bien sûr un « projet » ne pense pas ou n'agit pas par lui-même. Si cela peut sembler trivial, il est important de garder à l'esprit qu'un projet, une administration ou toute autre organisation humaine n'est en fin de compte composée que d'êtres humains. Comme le montre Douglas (1986), il existe une influence mutuelle entre la pensée des institutions et la pensée des individus qui composent l'institution donnée.

L'un des facteurs de défaillance (qui ne peut être décrit qu'*a posteriori*) a été la grande autorité d'André Coyne. C'était une personnalité très reconnue dans la communauté des barrages, il était également connu pour sa vivacité d'esprit, sa grande intelligence mais aussi pour son caractère sec et son autorité (on disait de lui qu'il effrayait certains de ses jeunes collaborateurs). Ces traits ont sans doute été la force qui lui a permis de réaliser son travail (pour lequel il a

¹⁰ Le barrage ayant été construit pour l'approvisionnement en eau de la région s'est ainsi finalement trouvé privé de son utilité ; perte de sens pouvant (quoique de manière diffuse et non objectivable) contribuer à expliquer les manquements dans le suivi et la surveillance de l'ouvrage (voir 4.2.4).

reçu le prestigieux grand prix d'architecture en 1953), mais ces mêmes traits se sont, d'une certaine façon, retournés contre lui dans le cas de Malpasset. Lors du procès de 1964, le géologue George Corroy a expliqué la confiance qu'il avait dans André Coyne qui avait déjà construit de nombreux barrages. Il explique ainsi qu'il a été « *subjugué* » par Coyne auquel il attribue « *l'âme du géologue, qui connaît admirablement la roche* ». Corroy a également déclaré qu'il s'était adressé au chef de projet (Coyne) pour les décisions concernant les études de terrain approfondies et qu'il avait préféré se retirer progressivement du projet. Un autre exemple de la grande confiance inspirée par Coyne se trouve dans la réponse faite par le maire de Fréjus, Henri Giraud, aux déclarations catastrophistes publiées dans un journal local (Nice-Matin) : « *Ce que vous ne pouvez pas ignorer, c'est que l'auteur du projet est M. Coyne, inspecteur général et président général de la Société d'étude des barrages de France. À ce jour, M. Coyne a construit plus de quatre-vingts barrages sur des oueds, des rivières et des torrents. M. Coyne vient d'être nommé par le gouvernement d'Afrique australe pour étudier un barrage sur le fleuve Zambèze, barrage qui retiendra un milliard 600 000 m³, soit trente-cinq fois plus que le barrage de Malpasset [...]* »¹¹.

L'excès de confiance, conjugué à une mauvaise communication entre les parties prenantes et à un manque de compétences ou d'expérience, a conduit le projet à une autre décision critique concernant le dimensionnement de la vanne de fond. Nous avons déjà mentionné le régime torrentiel du Reyran et le fait que le remplissage de Malpasset a été marqué par une période sèche de 5 ans suivie de longues et fortes pluies fin 1959. Il a été estimé (Moine, 2009) que le taux de remplissage maximal (atteint au cours des dernières 24 heures) était d'environ 150 m³/s. La seule façon de contrôler le premier remplissage aurait été de disposer d'une vanne de fond capable d'évacuer un tel débit. Or, la vanne qui équipait Malpasset était dimensionnée pour un débit trois fois inférieur (50 m³/s). Il a été considéré que la vanne de fond était dimensionnée selon *l'état de l'art*. Cependant, compte tenu de l'absence de galerie de dérivation et du régime torrentiel, le Génie rural aurait pu être alerté sur un problème de contrôle concernant le premier remplissage. Nous constatons ici un double phénomène : (1) une confiance excessive dans les normes et l'état de l'art empêchant leur remise en cause ; et (2) une prise en compte partielle de la problématique du premier remplissage : la crainte était alors de ne pas pouvoir remplir le réservoir rapidement et non pas que son remplissage puisse devenir incontrôlable ! Enfin, faute d'un premier remplissage complet, seules des réceptions partielles du barrage ont eu lieu les 9 février 1955 et 1^{er} août 1956. Cela a conduit à brouiller les responsabilités entre le constructeur et le propriétaire, flou dont les effets pèseront sur le plan de surveillance de l'ouvrage (voir 4.2.4 ci-dessous).

¹¹ Réponse publiée dans le journal "La France", le 5 février 1957. Il faut multiplier ce rapport par 100 : la retenue de Kariba (complètement pleine en 1963) est en fait de 181 milliards de m³, soit 3600 fois celle de Malpasset.

Tableau 4. Synthèse des défaillances dans la gestion de projet

Défaillance	Origine	Catégorie	Type
Adoption dogmatique des avis de Coyne, non remise en cause de ses décisions	Individuel	Communication	Induite
Dimensionnement de la vanne de fond selon les règles de l'art (sans considérer son surdimensionnement)	Technique État de l'art	Perception du risque	Induite
Livraison du barrage avant l'achèvement du premier remplissage (période sèche de 5 ans combinée à un retard dans l'expropriation de la mine en amont)	Organisation	Perception du risque Gestion des compétences	Induite

Bien que d'origines diverses, les défaillances humaines liées au projet sont toutes *induites*. On peut noter les effets délétères de l'excès de confiance, tant dans l'expertise et les décisions d'André Coyne que dans un *état de l'art* technique. Une confiance aveugle, en lien avec la notion d'*esprit critique*, peut devenir un danger. En effet, elle altère la vigilance, tout autant que la possibilité d'échanges contradictoires, de remise en cause de ses opinions, etc. Comme le dit le proverbe « *la confiance n'exclut pas le contrôle* » ; et le *contrôle* a failli à de nombreux niveaux dans le cas de Malpasset. Enfin, on constate que le rapport au temps, perçu comme une contrainte (e.g. retards dans l'expropriation des anciennes mines, contexte économique pressant la réception définitive des travaux) a influencé autant les décisions que les pratiques.

4.2.4. Contrôles techniques mais planification humaine des contrôles

Nous avons mentionné les travaux de Mary Douglas sur la façon dont pensent des institutions dans la partie précédente. Pour comprendre les faits décrits ci-dessous, il faut avoir à l'esprit les effets produits par ce qu'il convient d'appeler la *technocratie* et son importance en France dans les années 1950-60. Le *Corps des Ponts et Chaussées* était un organisme d'État très prestigieux, plus prestigieux que le *Génie Rural*¹². Cet état de fait a contribué à donner plus de poids aux avis des ingénieurs d'un organisme d'État que de l'autre ; notamment en ce qui concerne les décisions techniques relatives à la surveillance du barrage. Nous avons également mentionné que le système d'irrigation n'avait jamais été opérationnel en raison du retard dans la livraison de certaines parties. Cela a eu pour effet de priver le barrage d'une partie de son utilité. L'ouvrage devenu un *simple mur de béton*, sa surveillance a peut-être semblé moins urgente. Quoi qu'il en soit, dans les années 1950, seuls les barrages hydroélectriques étaient contrôlés par une commission d'ingénieurs qualifiés ; les

¹² Les deux corps ont depuis fusionné.

ouvrages destinés à l'irrigation (le cas de Malpasset), étaient uniquement soumis au contrôle du service départemental des *Ponts et Chaussées*¹³.

En 1952, le département du Var mandate le *Génie Rural* pour la surveillance du barrage mais sans émettre de cahier des charges¹⁴. M. Dargeou, ingénieur du *Génie Rural* demandera à plusieurs reprises au Préfet de préciser et d'organiser le relevé et la surveillance générale (y compris l'évolution des déformations de l'ouvrage et leur interprétation). Le 7 janvier 1955, la Commission départementale autorise la signature d'une convention¹⁵ confiant à la *Société de Photo-topographie* la réalisation des relevés topographiques du barrage, aucun expert n'étant encore mandaté pour l'interprétation de ces mesures. Plus préoccupant encore : aucune mesure n'est prise avant le début du remplissage du barrage (voir Fig. 4). Cette absence de mesure de référence, « point zéro », a inévitablement altéré l'interprétation des campagnes ultérieures (il n'y a pas de relevé lors du remplissage des 35 premiers mètres). Le contrôle effectué en 1958, communiqué au bureau ACJB, ne révèle aucune irrégularité. A l'été 1959, les dernières mesures sont effectuées, leurs résultats ne parviendront au bureau ACJB qu'après la rupture du barrage ; ils étaient arrivés (en novembre 1959) au *Génie rural* qui les a transmis au préfet et au Conseil général du Var pour un archivage simple : en effet, « *qui contrôle quoi ? Le client envoie les mesures au préfet et personne n'est en mesure de les interpréter* » (Duffaut, 2010a). Pourtant, ces mesures indiquent des déplacements non négligeables des repères situés en partie basse du barrage¹⁶.

En termes de surveillance de l'ouvrage, la présence d'un gardien sur place doit être mentionnée. Ce gardien, M. André Ferro, était chargé de faire des

¹³ Depuis la catastrophe de Malpasset, notamment suite aux négociations entre les ministères intéressés, un décret interministériel (du 13 juin 1966) a créé le Comité Technique Permanent des Barrages et Ouvrages Hydrauliques (CTPBOH) ayant pour mission d'examiner, discuter collégalement et valider tous les projets d'ouvrages de plus de 20 m de hauteur.

¹⁴ Dans les faits, c'est le bureau ACJB qui l'assurera jusqu'à la fin des travaux de construction en 1954 avant de passer le relais au *Génie Rural*.

¹⁵ Accord qui ne sera signé que plus d'un an plus tard, le 15 février 1956.

¹⁶ Les repères installés sur le parement aval de la voûte permettent d'en contrôler la déformation et en principe aussi, indirectement, les déplacements de ses appuis. Mais ceux-ci sont plus faibles et à la limite de précision pratique des mesures topographiques, seules disponibles à l'époque. Le pendule inversé, offrant toute la précision requise pour ce genre de contrôle, n'est apparu (simultanément et indépendamment au Portugal et en Suisse) qu'en 1958. Il s'est progressivement imposé ensuite.

observations visuelles du terrain et de la structure pendant le remplissage. C'est lui qui a remarqué pour la première fois les infiltrations dans la structure du barrage en novembre 1959, ainsi que l'apparition de venues d'eau en rive droite. Il a également noté l'apparition de fissures dans le tapis de réception en béton, toujours du côté droit (Duffaut, 2010b).

Les observations d'André Ferro finissent par susciter des inquiétudes et le 30 novembre 1959, une demande de lâcher préventif est faite par le *Génie Rural* mais elle est refusée par les *Ponts et Chaussées* afin de ne pas endommager le chantier d'un pont routier, le coffrage des piles étant toujours en place (Duffaut, 2009). M. Léon Nourrit, alors responsable du *Génie Rural*, convoqua les représentants des entreprises ayant participé à la construction de l'ouvrage, sur place pour le 7 décembre (soit 5 jours après la rupture). La cote d'exploitation du réservoir (98,5 m NGF) sera finalement dépassée dans l'après-midi du 1er décembre (engageant la tranche de laminage des crues, prévue jusqu'au seuil du déversoir libre à la cote 100,40 et sans toutefois l'atteindre) mais la vanne de fond est maintenue fermée. Dans l'après-midi, une réunion de crise sur place des ingénieurs des *Ponts-et-Chaussées* et du *Génie rural* aboutit à la décision d'ouvrir la vanne de fond (à 18 heures, soit 3 heures avant la rupture ; Valenti & Bertini, 2003).

Tableau 5. Synthèse des défaillances dans la surveillance de l'ouvrage

Défaillance	Origine	Catégorie	Type
Technocratie (Ponts et Ch. vs Génie Rural)	Organisation	Politique	Fortuite
Absence de contrôle externe (département en tant que propriétaire/MOA et organisme public en tant qu'ingénieur/MOE)	Organisation	Politique	Fortuite
Mauvaise communication entre le propriétaire (MOA) et l'ingénieur (MOE)	Organisation	Communication Gestion des compétences	Induite
4 ans de retard dans le plan de surveillance et d'entretien pourtant demandé par le Génie Rural dès le mois de décembre 1954 à la fin de la construction	Organisation	Perception du risque Relation avec le temps	Induite
Aucune interprétation des mesures par un responsable (absence de « point zéro »)	Organisation	Gestion des compétences Perception du risque	Induite
Gardien non-qualifié (dont les observations ne sont pas considérées fiables)	Organisation	Gestion des compétences Perception du risque	Induite
Juillet 1959 : dernière campagne de mesures non interprétée (retard de 4 mois dans la diffusion des résultats)	Humain	Perception du risque Relation avec le temps	Induite

Fin novembre 59 : infiltrations en haut de la RD en aval du barrage et fissures dans le tapis de protection. Réunion convoquée (trop tard) sur place avec l'injecteur et ACJB pour le 7 décembre	Humain	Perception du risque Relation avec le temps	Induite
3 jours avant la rupture du barrage : le Génie Rural a demandé l'autorisation d'ouvrir la vanne de fond, refus dû à la construction d'un pont autoroutier en aval	Organisation Ecosystème	Perception du risque Relation avec le temps	Induite

L'existence de relations hiérarchiques entre les institutions se situe en dehors du champ d'action de la plupart des acteurs d'un système. Cependant, il est intéressant de garder à l'esprit la différence entre un organigramme (l'organisation telle qu'elle est idéalement pensée) et un sociogramme (l'organisation telle qu'elle existe réellement). Dans le champ d'action de l'acteur cette fois-ci, notons les effets négatifs de la lenteur administrative du Conseil Général du Var (concernant la mise en place d'un plan de surveillance adapté) et une relative insouciance des services de la préfecture quant à l'existence d'un barrage sur leur territoire et aux compétences des personnes chargées de sa surveillance.

La plupart des défaillances en matière de surveillance et de contrôle ne sont pas fortuites. Elles sont dues à une mauvaise évaluation ou perception des risques (par exemple, en ce qui concerne les alertes du garde, la décision de sauver les piles du pont autoroutier) et à une mauvaise appréciation des *signaux faibles* (par exemple, le manque de préoccupation concernant les déformations révélées par les relevés topographiques). Bien entendu, tous les éléments analysés dans les sous-sections précédentes (tableaux 2 à 5) interagissent de manière systémique : l'autorité de Coyne et la confiance qui lui est accordée, la confiance excessive dans la technique des barrage-voûte (dont aucune réalisation n'avait jamais rompu auparavant), l'impératif d'achever le remplissage pour la livraison finale (en partie pour des raisons économiques liées au contexte économique d'alors en France), tous ces facteurs ont en quelque sorte contribué à façonner la perception du risque. Perception du risque qui a elle-même influencé le rapport au temps dans les décisions (par exemple, retard de l'ouverture de la vanne, réunion avec l'entrepreneur et le cabinet d'étude convoquée trop tard), et ainsi de suite jusqu'à la défaillance de l'ouvrage.

4.2.5. Quelques considérations sur l'absence de mesures de protection

Il a été possible de dresser une chronologie très précise des événements qui ont suivi la rupture grâce à des témoignages et aux enregistrements de chutes de tension sur le réseau électrique indiquant la chute de pylônes ou la destruction de transformateurs par la vague. Il a ainsi été établi qu'il fallut 26

minutes à la vague pour atteindre la ville de Fréjus et 10 minutes de plus pour atteindre la mer, inondant la base aéronavale et faisant la dernière victime¹⁷.

Bien que très court, ce délai aurait-il néanmoins pu permettre d'abriter une partie de la population et ainsi limiter le nombre de victimes ? Ou aurait-ce été contre-productif, l'activation du réseau de sirènes d'alerte des pompiers incitant la population à sortir dans la rue sans qu'elle n'ait le temps d'évacuer ? Mettre ce sujet en discussion sans s'exposer aux biais d'analyse rétrospective est impossible, d'autant que comme cela a été souligné lors du procès, de tels plans d'urgence n'existaient pas pour les barrages à l'époque.

Notons cependant qu'après 18h30, il n'y avait pas de liaison téléphonique directe entre l'officier de gestion des urgences (un chef d'escadron de l'armée) et la préfecture du Var, et que le gardien André Ferro n'avait pas de téléphone chez lui, ce qui tend à montrer la faible perception des risques liés à l'ouvrage et de l'intérêt potentiel d'un chaîne d'alerte ! Quoi qu'il en soit, la gestion de l'alerte n'a pas été retenue comme déterminante pendant le procès.

Tableau 6. *Absence de mesures de protection dans la rupture du barrage de Malpasset*

Défaillance	Origine	Catégorie	Type
Absence de plans d'urgence (alerte, évacuation)	Organisation	Politique	Fortuit
Le gardien du barrage n'avait pas de téléphone chez lui	Organisation	Communication Appréciation du risque	Induit

La rupture du barrage de Malpasset s'est donc accompagnée de plusieurs facteurs aggravants. La rupture s'est produite de nuit, lorsque la plupart des gens sont à leurs domiciles et que les jeunes enfants dorment ; il s'agit d'une rupture totale et instantanée et les localités qui ont été le plus touchées étaient situées très près en aval du barrage. Ces facteurs aggravants étaient également réunis dans la catastrophe du Vajont en Italie en 1963 qui fit plus de 2000 victimes (rupture nocturne, phénomène instantané et proximité avale des localités les plus touchées).

A titre d'illustration plutôt que de comparaison, la rupture de Teton Dam aux États-Unis s'est produite de jour et, quoique rapide, n'a pas été instantanée, ce qui a permis d'activer un plan d'urgence (14 personnes sont toutefois décédées).

¹⁷ *Un météorologue, resté au poste d'observation dans la nuit du 2 décembre (Dubois, 2011).*

4.3 DISCUSSION

« La complexité provient de la quasi impossibilité de maîtriser les phénomènes vivants [...] instables par définition » (Fiévet, 1992)

Relire une catastrophe entrée dans l'histoire d'une communauté scientifique à la lumière des théories contemporaines permet de mener à bien une longue et minutieuse quête d'explications. Cette lecture contemporaine a également pour but de maintenir ces enseignements « en vie », soit en les faisant connaître à de nouvelles personnes, soit en les soumettant au débat des pairs sous un angle nouveau. C'est dans cet esprit que les auteurs de cette communication ont été invités à donner une conférence sur la rupture du barrage de Malpasset lors de la conférence annuelle 2018 de l'Engineering Group of the Geological Society (EGGS) qui s'est tenue au Christ's College, à Cambridge, sur le thème « *Keeping Lessons Alive* ».

La relecture de la rupture du barrage de Malpasset à la lumière des sciences humaines invite également à une réflexion éthique et morale sur l'articulation de ce que nous *savons (faire)*, de ce que nous *pouvons (faire) et de ce que nous devons (faire)*. Ainsi, la distinction que nous avons proposée entre défaillances *induites* et défaillances *fortuites* pourrait être complétée par une réflexion sur la différence entre la *prévisibilité* (est *pré-visible* ce qui est visible avant, le caractère prévisible s'applique donc au phénomène) et celui de *prévoyance* (est *pré-voyant* celui qui voit avant, la prévoyance s'applique donc à l'observateur ou à l'analyste dudit phénomène). Il est impossible de *prédire* toutes les formes que pourrait prendre un accident (manque de visibilité empêchant de *pré-dire* ou « *dire avant* ») ; pourtant le jugement moral (du politicien ou du juge) pourrait qualifier d'*imprévoyante* l'organisation qui a provoqué l'accident par ses activités, considérant qu'elle ne l'a pas suffisamment *observé, analysé*, par le travail d'équipes dédiées, de gestionnaires, de services de contrôle. A Fukushima, la digue dimensionnée pour arrêter la vague n'était pas assez haute. La vague était-elle *imprévisible* (manque de *visibilité*) ou l'exploitant a-t-il été *imprévoyant* (manque de *vision*) ? Répondre à de telles questions est pour une société industrielle la condition préalable à (1) l'établissement d'une responsabilité permettant une forme de compensation (aspect juridique) ; (2) la remise en cause de l'état de l'art chaque fois que cela est nécessaire. Cette question de l'« état de l'art » apparaît centrale car c'est elle qui discrimine souvent le coupable d'*imprévoyance* (celui qui n'a pas *prévu*, qui a manqué de *vision* par rapport à ce qui était connu) de la victime d'un événement *imprévisible* (aussi appelé *Cygne Noir*). Quoi qu'il en soit, la référence à l'état de l'art ne peut être qu'une tentative juridique de rationalisation d'un problème philosophique : l'accident étant, par définition, la rupture avec un état auquel

nous sommes habitués ; faisant partie intégrante de la normalité et simplement rendu saillant par sa faible fréquence et/ou sa forte intensité¹⁸.

Affronter la question du manque de visibilité / vision nous place face à nos responsabilités, dans le domaine du *possible* mais peut-être surtout de l'*impossible*. Faut-il cesser de construire certains types d'ouvrages ? Arrêter de construire dans certains périmètres ? En revenir aux questions de *destin* ? Se tourner vers un déterminisme métaphysique pour valider le fait que l'humanité est faillible ? Accepter que nous n'ayons qu'un contrôle *limité* voire *illusoire* sur le vaste système Terre ? Si l'ingénieur est *techniquement* et *moralement* responsable de la qualité de ses études et de ses réalisations, il ne faut pas oublier qu'une société est, elle, responsable de ses choix techniques et scientifiques.

5. CONCLUSION

Malpasset demeure la seule défaillance totale connue d'un grand barrage-voûte. Cette catastrophe a profondément marqué les esprits français, ainsi que ceux de toute une communauté de pratique (celle des constructeurs et exploitants de barrages, bien sûr, mais plus largement celle des constructeurs et exploitants d'ouvrages d'art). Lors des analyses post-accident, de nombreux aspects techniques et organisationnels sont apparus comme défaillants ou insuffisants et devaient être (ré)inventés, modifiés et/ou imposés par des réglementations. Relire le dossier à la lumière des exigences et procédures actuelles en matière de contrôle de la sécurité des barrages montre l'importance des progrès accomplis en la matière depuis. Le temps passant, il existe un risque d'oublier les origines (et donc le sens) de certaines normes ou bonnes pratiques. C'est pourquoi, l'histoire de cette catastrophe doit impérativement être *maintenue active*. Dans cette communication, nous tentons d'apporter un regard nouveau, rendu possible par les *sciences humaines* et la théorie de l'accident organisationnel. Il s'est agi de déplacer la focale des considérations techniques et géologiques vers les questions de décisions et d'arbitrages. Nombre de décisions que nous avons qualifiées de *défaillantes* ont été induites par une confiance excessive, un manque de confiance ou de compétences, une mauvaise communication, une mauvaise perception des risques, etc.

Nous avons insisté sur le fait qu'aucune des *défaillances* humaines ou organisationnelles listées dans la partie 4 n'est, considérée isolément, suffisante pour expliquer la catastrophe. Nous voudrions pour conclure mettre en évidence le fait que 75% des *défaillances* listées sont des *défaillances induites*, donc

¹⁸ *L'éveil d'un volcan n'est un accident qu'à l'échelle temporelle et spatiale d'une communauté humaine donnée mais ne saurait l'être à l'échelle des temps géologiques.*

situées « dans le champ d'action des acteurs concernés, relevant de leur libre arbitre, esprit critique et décisions ». Cela suggère que la rupture de Malpasset n'est pas liée à la *fatalité*. Sans chercher à désigner un coupable, il apparaît possible de conclure à la responsabilité de la « *condition humaine* ».

Malpasset est donc une catastrophe liée à la géologie et à l'ingénierie mais aussi : (1) aux enjeux politiques, diversement appréciés au point de se transformer en pression politique, (2) à la peur de dire ou de faire, (3) à la gestion des compétences (une responsabilité hiérarchique), (4) au rapport au temps (appréciation des signaux faibles, point de non-retour), et (5) au rapport à l'incertitude (confiance excessive dans la technique, appréciation du risque). L'importance d'avoir ces aspects à l'esprit pour les futurs projets d'ingénierie, grâce à leur mise en débat au sein des équipes et leur intégration dans les outils et méthodes d'analyse des risques, pourrait bien être l'une des leçons les plus importantes à retenir.

RÉFÉRENCES

- Boudou M. (2015). *Monographie de la rupture du barrage de Malpasset, 2 décembre 1959*, 46 p., Annexe (T.2) de sa thèse "Approche multidisciplinaire pour la caractérisation d'inondations remarquables". Univ. Montpellier III.
<https://www.researchgate.net/publication/301790756>
- Carrère A. (2010). *Les leçons de Malpasset, leur application aux projets de barrages d'aujourd'hui*. Revue française de géotechnique, Paris, 131-132, 37-51.
- CASS (1967). Cour de cassation, chambre criminelle. Audience publique du jeudi 7 décembre 1967. N° de pourvoi: 66-91852. Publié au bulletin.
- CFBR (2009). Barrage de Malpasset (Var), l'accident du 2 décembre 1959, 5 p.
- Coyne A. (1943). *Leçon sur les barrages* à l'Ecole nationale des ponts et chaussées.
- Coyne A. (1956). *Les barrages-voûtes, leur philosophie*. Journal of Power division ASCE, 52, 959, 1-17.
- Douglas M. (1986). *Comment les institutions pensent*. Syracuse University Press.
- Duffaut P. (2010a). *Malpasset, la seule rupture totale d'un barrage-voûte*. RFG 131-132, 5-18.
- Duffaut P. (2010b). *Cinquantenaire de la rupture des fondations du barrage de Malpasset*. Bull. Comité Français d'Histoire de la Géologie.
- Duffaut P. (2013). *The traps behind the failure of Malpasset arch dam, France, in 1959*. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 5(5), 335-341.
- Foucou M. (1978). *Malpasset : Naissance, vie, mort d'un barrage*. Editeur inconnu. 44 p.
- Goguel B. (2018). *Malpasset arch dam failure at first impoundment*. CIGB Bulletin 180, Dam Surveillance. Lessons learnt from case histories, 55-60.
- Guarnieri F., Cambon J., Boissière I. (2008). *De l'erreur humaine à la défaillance organisationnelle : Essai de mise en perspective historique*. Revue de l'électricité et de l'électronique n°8. pp. 67-76.

- ICOLD-CIGB (1974). *Lessons from dam incidents. Leçons tirées des accidents de barrages*, pp. 33-40.
- Larouzee J., & Le Coze J. C. (2020). Good and bad reasons: the Swiss cheese model and its critics. *Safety science*, 126, 104660.
- Londe P. (1973), *La mécanique des roches et les fondations des grands barrages – Rock mechanics and dam foundation design*. CIGB-ICOLD, 102 p. ("special Bulletin" sponsored by the International Society for Rock Mechanics, edited by the ICOLD Committee on International Relations).
- Londe P., Le May Y. (1983), *Rock foundations for dams – Fondations rocheuses de barrages*. ICOLD-CIGB Bulletin n° 88, updated edition of the 1973 "special Bulletin".
- Londe P. (1987). *The Malpasset dam failure*. Eng. Geology, Elsevier, 24, 296-329.
- Mary M. (1968). *Barrages voûtes, historique accidents et incidents*. Paris, Dunod. 36-77.
- Moine M. (2009). *Le barrage de Malpasset*. Consulté en ligne novembre 2018 (<http://geologierandonneurs.fr/pdfcours/Malpasset.pdf>).
- Post G., Bonazzi D. (1987). *Latest thinking on the Malpasset accident*. Eng. Geology, Elsevier, 24(1-4), 339-353.
- Reason J. (1990). *Human Error*. Cambridge University Press.
- Reason J. (1997). *Managing the risks of organizational accidents*. Aldershot, Royaume-Uni : Ashgate Publishing Limited.
- Reason J. (2000). *Human error: models and management*. BMJ 2000, 320:768-70.
- Swain A. D. (1963). *Method for performing a human-factors reliability analysis* (n° SCR--685). Sandia Labs, Albuquerque, N. Mex (USA).
- Valenti V., Bertini A. (2003). *Barrage de Malpasset : de sa conception à sa rupture*. Publications de la Société d'Histoire de Fréjus et de sa Région : Hors-série, Éd. du Lau, Fréjus, 224.

RESUME:

Le 2 décembre 1959, le barrage-voûte de Malpasset a soudainement rompu, causant d'énormes destructions et faisant plus de 400 victimes. Construit entre 1952 et 1954 pour l'approvisionnement en eau et l'irrigation, son complet remplissage avait été retardé de cinq ans. Il s'est terminé par une crue soudaine de la rivière, la rupture intervenant juste avant le déversement sur l'évacuateur à seuil libre. Elle résultait d'une défaillance majeure de l'appui rive gauche, soumis à un régime de sous-pressions insoupçonné lors de la conception. Les études post-rupture ont révélé la complexité du massif rocheux métamorphique (gneiss œillés sillonnés de failles), et une quasi absence de surveillance de l'ouvrage durant le remplissage. Cette communication entend établir qu'au-delà d'une étiologie technique, la prise en compte de ce que l'on nomme aujourd'hui les « facteurs organisationnels et humains » (ou FOH) apporte un éclairage complémentaire sur cette catastrophe. En effet, si la géologie du site et le processus de rupture ont été largement étudiés, initiant le développement de la

mécanique des roches dans l'appréciation des fondations de barrages, cette catastrophe apparaît aussi comme un cas d'accident organisationnel, résultant tout autant de contingences techniques qu'humaines et institutionnelles.

SUMMARY:

On December the 2nd, 1959, the Malpasset arch dam suddenly failed, causing enormous destruction and more than 400 casualties. Built from 1952 to 1954 for water supply and irrigation, its complete impounding had been delayed by five years. It was accelerated by a flash flood, and the dam failure occurred just before the crest free spillway was reached. The dam collapse resulted from of a major deficiency in the left bank, due to uplift at depth in the foundation which was ignored at the time of the design. Post-failure studies revealed the complexity of the metamorphic rock mass (faulted gneiss), and lack of appropriate monitoring during the reservoir impounding. This paper intends to establish that beyond a technical aetiology, the consideration of what is today called "organizational and human factors" can provide additional insight into this disaster. Indeed, if the site geology and the process of rupture have been widely studied, initiating the development of rock mechanics in the assessment of dam foundations, this disaster also appears as a case of organizational accident: resulting from technical as well as human and institutional contingencies.