

LA RUPTURE DU BARRAGE DE MALPASSET

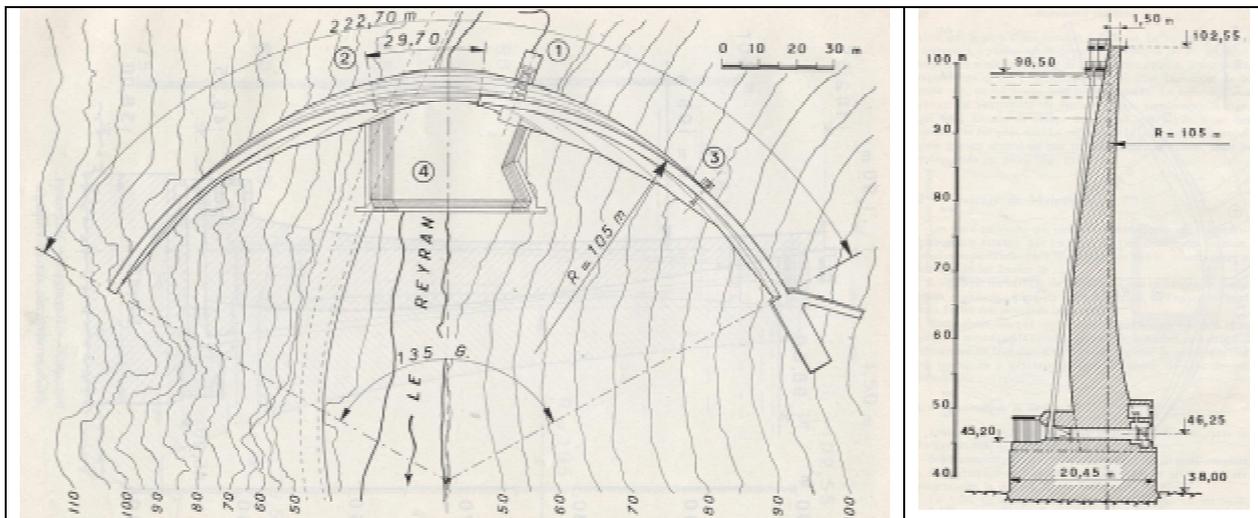
(Pierre DUFFAUT et Pierre HABIB)

Lorsque l'on parle de Malpasset tout le monde sait qu'il s'agit d'une des plus grandes catastrophes industrielles de France. Mais comme la rupture du barrage s'est produite il y a cinquante ans les gens et surtout les jeunes ingénieurs ne savent pas très bien ce qui s'est passé, or il est bon d'en connaître les principaux aspects.

Après le drame, Pierre Duffaut et Pierre Habib (anciens Présidents du Comité Français de Mécanique des Roches) ont été très proches de certains des acteurs de cette tragédie et ils peuvent préciser les aspects essentiels. Pierre Duffaut était Ingénieur à E.D.F. et son père a fait partie de la Commission d'Enquête Administrative et certaines des photographies présentées ici ont été prises dans les lendemains de la catastrophe. On peut dire que certaines images sortent pratiquement d'un album de photos de famille. Pierre Habib était Directeur Adjoint du Laboratoire de Mécanique des Solides à l'Ecole Polytechnique.

1 - Le barrage et le contexte administratif :

- Le barrage de Malpasset était une voûte mince à double courbure, d'une hauteur de 60m au-dessus du lit de la rivière elle-même à l'altitude de 43m, c'est-à-dire d'une hauteur de 65m au-dessus du niveau des fondations. La longueur en crête était de 223m et une culée en rive gauche avait été prévue compte tenu du relief.



Plan de la voûte de Malpasset et coupe dans le plan vertical de la vanne de vidange

Il s'agissait d'une voûte mince. Mais pas la plus mince du monde comme il est écrit partout ; il y en avait de plus minces encore, projetées par ACJB ou par d'autres, ou encore plus minces construites par d'autres entreprises qu'à Malpasset.

André Coyne était un grand spécialiste de renommée mondiale (Président du CGFB puis Président de la Société Internationale CIGB) ayant construit plus de 200 barrages (« j'ai barré le Zambèze et je n'ai pas réussi sur un ruisseau » a-t'il dit un jour). Professeur à l'Ecole des Ponts et Chaussées il disait dans son cours dès 1933 que la bonne tenue d'un barrage voûte était due à la bonne qualité de ses appuis ... ce qui était tout à fait prémonitoire.

Le barrage a été construit de 1952 à 1954.

- La construction d'un barrage avait paru nécessaire pour les besoins de l'agriculture. Le Département du Var, qui l'a financé, en était donc le propriétaire et tout naturellement le Préfet du Var a fait appel au Génie Rural pour suivre le projet et sa réalisation ; il a demandé à M. Corroy, Professeur de Géologie à la Faculté de Marseille, de se prononcer sur le choix et l'emplacement du site du barrage. Le Professeur Corroy était un bon géologue, mais il n'avait pas une grande expérience de la construction des barrages ; il était très admiratif d'André Coyne.

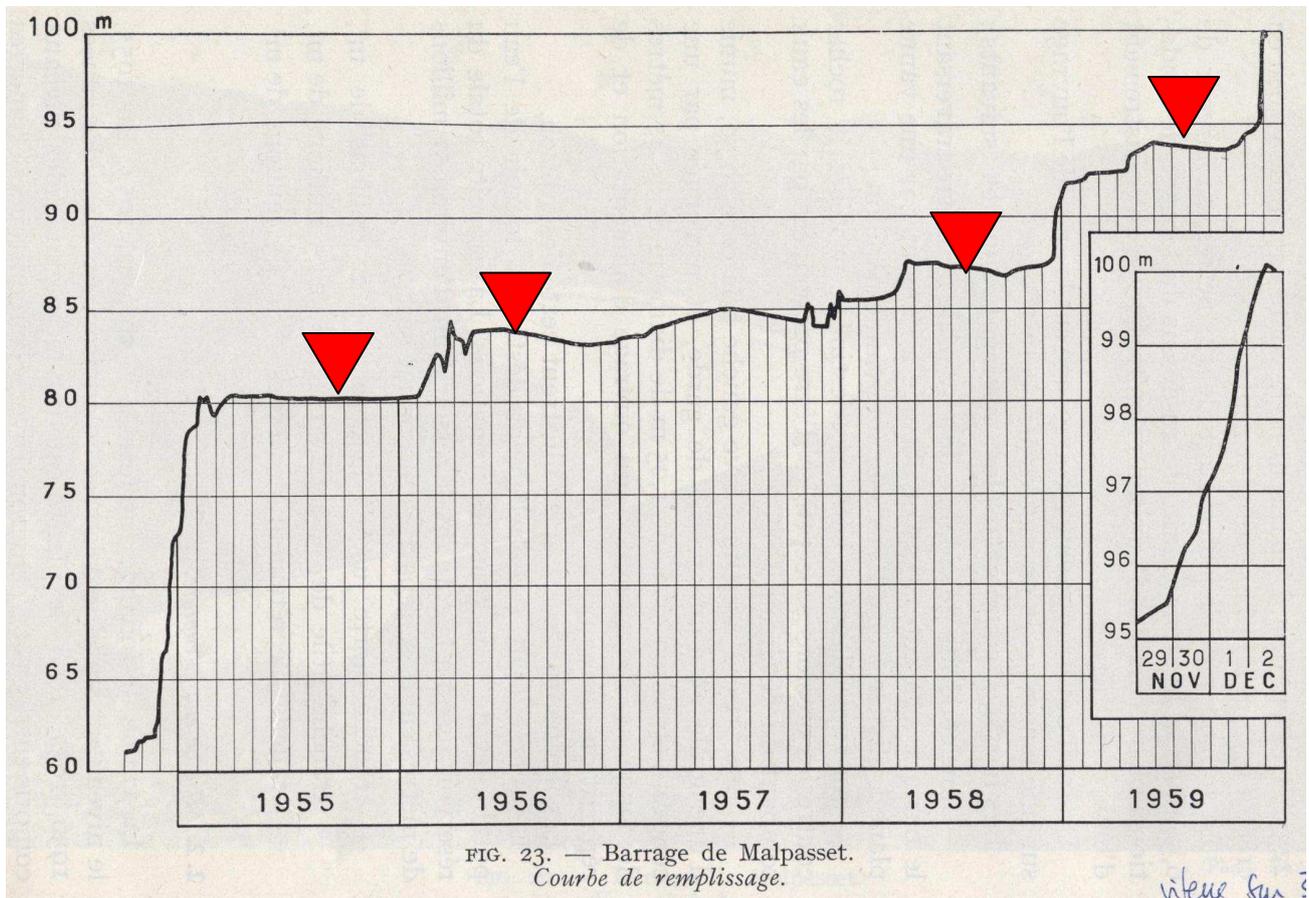
- Le Génie Rural, à cette époque, avait construit de nombreux barrages collinaires, mais n'avait pas construit de grands barrages, sauf peut-être le barrage de Bimont, une voûte projetée aussi par ACJB. Mais ceux des Ingénieurs du Génie Rural qui avaient suivi cette construction n'ont pas été associés à la construction du barrage de Malpasset.

En bref, à cette époque, le Génie Rural ne pouvait pas être un interlocuteur techniquement valable pour ACJB : il n'y avait donc pas de dialogues constructifs entre le Maître d'Ouvrage et le Maître d'œuvre.

2 – Description de la catastrophe :

- Curieusement, il n'a pas été possible de remplir le réservoir immédiatement après la construction du barrage à cause de la présence d'une mine de fluorine, dont la concession devait bientôt se terminer. Le remplissage s'est donc fait progressivement pendant cinq ans. Mais pour pouvoir payer les Entreprises et le Maître d'œuvre, une réception provisoire a été faite avec un réservoir à la cote 80m (soit 20m en dessous du niveau maximal). A cette réception était associée une surveillance topographique systématique, et quatre mesures ont été faites dont la dernière peu avant la catastrophe, mais dont les résultats n'ont été communiqués qu'après la rupture. La dernière mesure topographique

indiquait un déplacement de 17mm au pied d'une console centrale. Ce qui n'aurait sans doute pas été considéré comme inquiétant si on avait connu ces résultats plus tôt, mais qui aurait sans doute mérité une surveillance.



Graphique de remplissage du barrage (le cartouche donne un agrandissement pour les 4 derniers jours) les triangles marquent les dates des mesures géodésiques de déplacement

- La pluie continuant de tomber, le niveau du réservoir continuait de monter mais on a hésité à ouvrir la vanne de fond, de crainte de saccager le chantier en cours de construction d'un pont autoroutier sur le Reyran à l'aval du barrage.

Le niveau continuant de monter, le 2 Décembre la décision fut prise d'ouvrir la vanne de fond à 18h. Mais dans la nuit, à 21h10, le barrage a cédé.

- Le lendemain matin les observations ont montré que la fondation avait cédé dans la partie centrale, entraînant un report d'appuis entre la rive droite et la culée de la rive gauche. Lorsque l'appui de celle-ci cédé l'effet de voûte a disparu et les nombreuses colonnes centrales, sous la pression de l'eau de la retenue, ont alors été rompues en flexion vers l'aval. Alors quarante millions de mètres cubes d'eau se sont engouffrés dans la brèche ainsi formée effaçant tout sur leur passage. Des débris des blocs de béton et de roche ont été entraînés dans les flots du Reyran jusqu'à la mer et le flot au pas-

sage a ravagé une grande partie de la ville de Fréjus, en faisant plus de 400 morts. On a constaté aussi que la partie restante du barrage en rive droite avait très légèrement tourné (dans le sens des aiguilles d'une montre), faisant apparaître un vide décimétrique à l'amont du barrage entre le béton et les roches, et aussi, quelques jour plus tard, qu'il existait encore un écoulement résiduel de l'eau du Reyran sous une console du barrage au pied de la rive droite.

- Pour comprendre ce qui s'était passé, et pour définir des responsabilités, trois commissions d'enquêtes administratives et judiciaires ont été nommées. Elles étaient composées de techniciens, dont les compétences étaient incontestables.

3 – Les résultats des enquêtes :

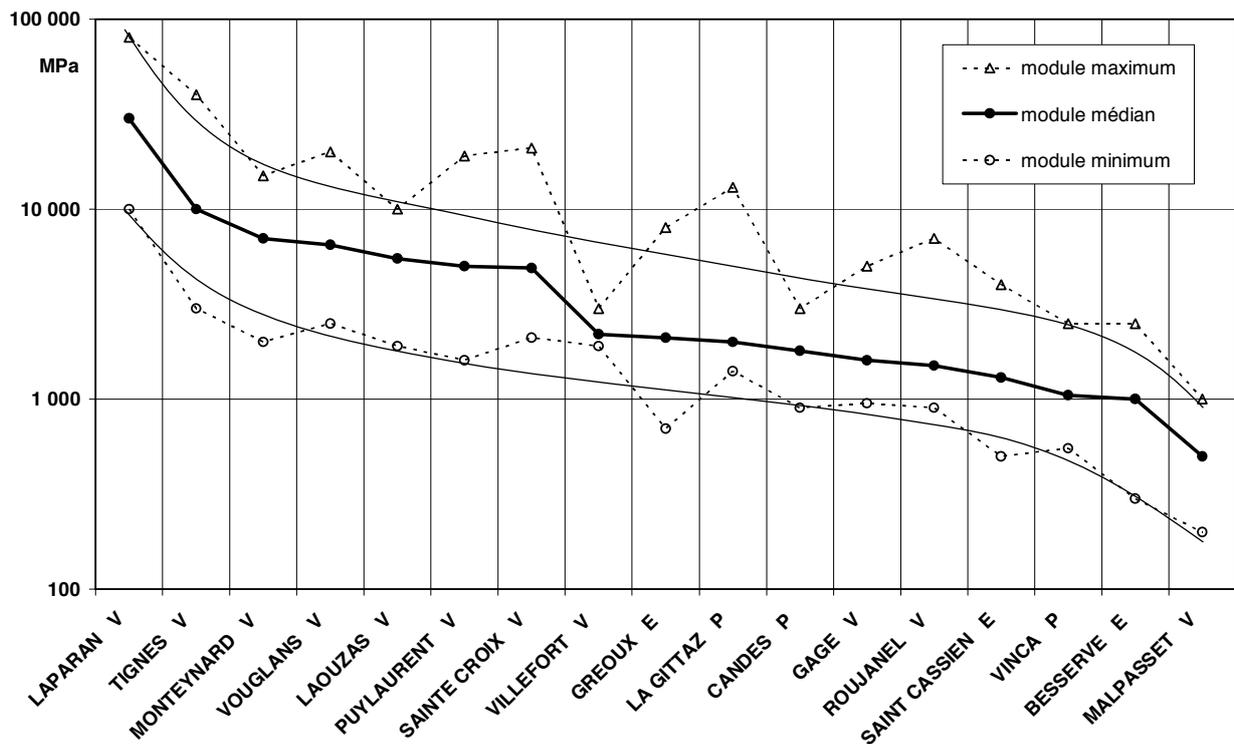
Les calculs de l'ouvrage et les modes de construction du barrage ont évidemment été examinés de très près, mais la rupture du massif rocheux de gneiss était tellement évidente que l'enquête s'est aussi orientée sur les qualités mécaniques de ce massif rocheux de gneiss composant le site du barrage. Des essais mécaniques ont été faits in situ sur ce qui restait à l'emplacement du barrage, et d'autres ont été faits en laboratoire.

- Les essais sur le site :

Ils ont été faits par des équipes d'E.D.F. avec des essais au vérin dans des galeries creusées dans le rocher, afin de déterminer le module d'élasticité du massif rocheux.

Les résultats ont été nettement très faibles, surtout si on les compare à ceux de [16](#) autres sites dans des massifs rocheux utilisés comme fondations de barrages en France.

On peut cependant faire une certaine réserve. L'explosion du barrage, puis le passage de 40.10^6 m³ d'eau n'ont-ils pas ébranlé et secoué énormément le site au point de le détériorer ? Car, 1000 MPa c'est le module d'élasticité d'une mauvaise craie et 200 MPa c'est le module d'élasticité d'un sable un peu tassé ? Mais enfin, les résultats des essais sont là...



Comparaison des modules mesurés par essais au vérin sur 17 sites de barrages, dont Malpasset

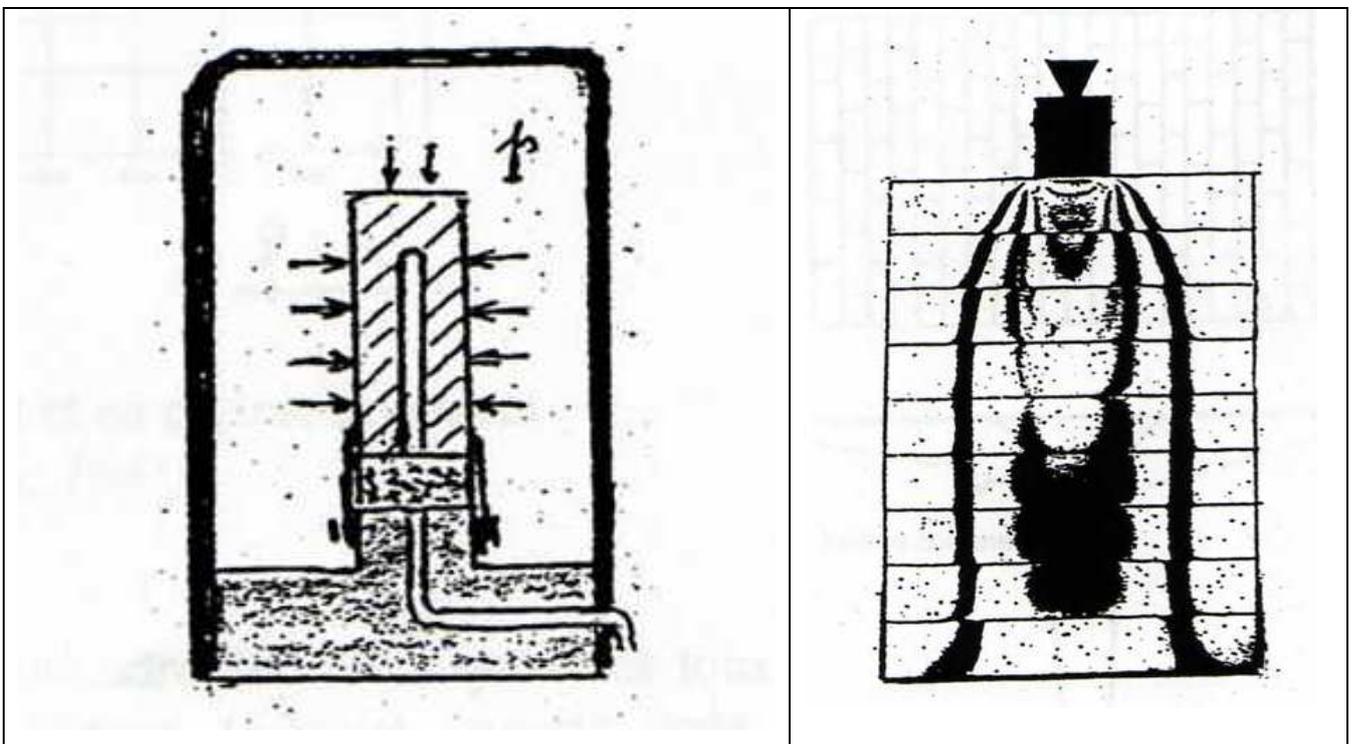
● Les essais en laboratoire :

A la demande de ACJB deux jeunes ingénieurs ont été détachés au L.M.S. pour préparer deux thèses de doctorat, avec mission d'essayer de faire tous les essais que l'on savait faire sur les roches à cette époque : densité, porosité, résistance à la compression, à la traction, essais triaxiaux, vitesse du son, module d'élasticité, coefficient de Poisson, dispersion, effet d'échelle, etc...

Les résultats étaient banals et en liaison avec la fissuration habituelle dans un massif rocheux. Par exemple, la résistance à la rupture en compression simple était très dispersée mais la valeur moyenne était de l'ordre de celle du béton. Il n'y avait pas de fluage ni de déformation différée. Du fait de la présence d'un barrage avec des infiltrations possibles, on a cherché à faire des essais de perméabilité à travers ce milieu très peu perméable et on a été amené à des essais avec un montage particulier utilisant des écoulements radiaux dans un sens ou dans un autre. Les essais ont montré que la perméabilité était très sensible aux contraintes exercées sur la roche. En compression, le coefficient de perméabilité était beaucoup plus petit que lorsque la roche était en traction, par exemple entre cent fois plus grand en traction qu'en compression, et ce rapport pouvait être une mesure de la fissuration des gneiss au-delà à la dispersion de mesure de perméabilité sur des échantillons différents.

Des essais montraient que la fissuration de la roche de Malpasset était beaucoup plus sensible aux contraintes extérieures que toutes les roches provenant des fondations de barrages d'E.D.F. en France, à l'exception du Barrage de Saint-Cassien initialement prévu sur un gneiss assez semblable à celui de Malpasset et qui était prévu pour une voûte projetée par ACJB ... et qui fut, de ce fait, conçue avec un enrochement.

Mais l'idée est venue que l'effet que la fissuration produisait sur la perméabilité pouvait aussi modifier la répartition des contraintes dans un milieu fissuré. Des essais en photoélasticité à deux dimensions ont montré effectivement que les contraintes pouvaient se répartir très différemment en fonction de l'existence de la fissuration dans des géométries simples.

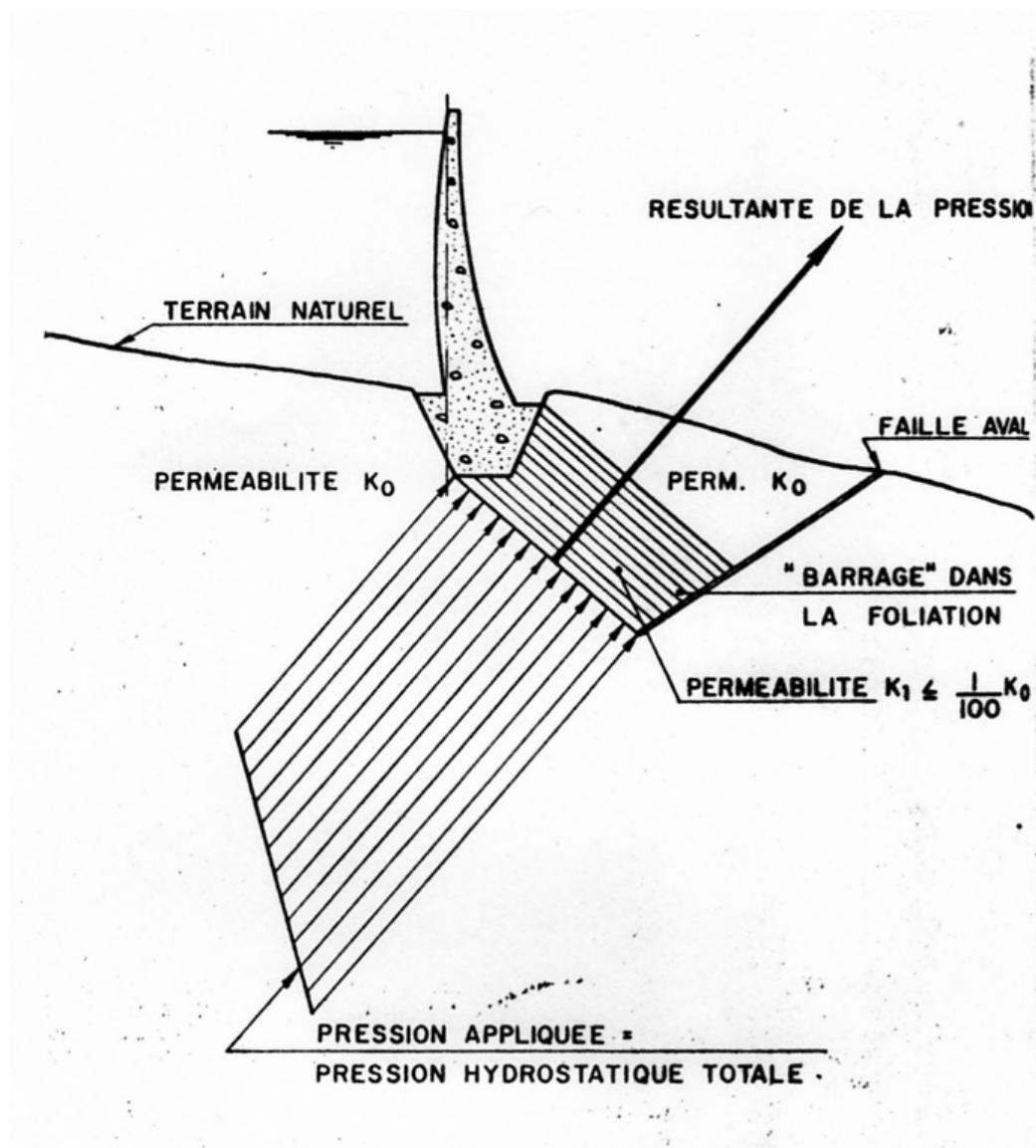


A gauche, essai de perméabilité radiale sur une carotte de gneiss de Malpasset

A droite modèle photoélastique de milieu stratifié : les efforts pénètrent profondément au lieu de se répartir dans un cône à 45° environ dans un milieu continu

En conséquence, le poids du barrage et la poussée hydrostatique derrière un barrage pouvaient engendrer à l'aval d'un barrage une barrière beaucoup moins perméable permettant aux pressions interstitielles derrière elle de soumettre la fondation aval du barrage à des forces inattendues.

Le risque de fissure amont entre le béton et le massif rocheux devait être traité et un voile d'injection pouvait renvoyer les sous-pressions vers l'arrière. A l'aval, par contre, il fallait drainer et mesurer les pressions interstitielles.



« PRESSION DE L'EAU SUR LE BARRAGE SOUTERRAIN » :

La zone comprimée de la fondation rive gauche était rendue étanche par la fermeture de ses fissures. La perméabilité y est devenue cent fois, peut-être mille fois plus faible, transformant la roche en un véritable « barrage souterrain », qui supporte la pleine pression hydrostatique du réservoir. On voit combien cette force, très grande, est mal dirigée. La stabilité de l'ensemble de l'appui rive gauche est mise en danger.

Pour connaître les leçons que la catastrophe de Malpasset a apportées à la construction des barrages, on peut se reporter à l'excellent exposé présenté par Alain Carrère devant le CFMR et le CFGI le 22 octobre 2009 et qu'on trouvera sur le site du CFGI.