

ÉLASTICITÉ. — *Sur la rupture du barrage de Bouzey.*

Note ⁽¹⁾ de M. VLADIMIR DE BELAEVSKY, présentée par M. Mesnager.

La rupture du barrage de Bouzey (en 1895), célèbre dans l'histoire de l'art de l'ingénieur et qui a suggéré à Maurice Levy l'idée de résoudre le problème de l'équilibre élastique d'un triangle indéfini soumis à la pression hydrostatique ⁽²⁾, a été attribuée par la conclusion des experts à l'effet des efforts normaux et non à celui du cisaillement comme le pensait Maurice Levy.

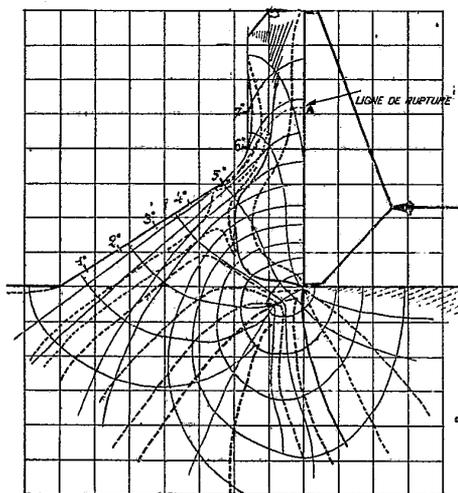


Fig. 1.

Afin de pouvoir donner une explication de la catastrophe, il importe d'obtenir la répartition exacte des efforts intérieurs, mais l'intégration des équations d'élasticité dans le cas d'un contour comme celui de Bouzey présente de grandes difficultés, c'est pourquoi nous avons recouru à la méthode expérimentale de M. Mesnager, méthode basée sur la propriété des corps transparents de devenir biréfringents sous l'action de forces extérieures convenablement appliquées ⁽³⁾.

⁽¹⁾ Séance du 26 janvier 1925.

⁽²⁾ *Comptes rendus*, 1898, t. 126, p. 1235, et t. 127, p. 10.

⁽³⁾ Voir l'article de M. MESNAGER, dans la *Technique moderne*, du 15 mars 1924, t. 16, n° 6, *Les tensions intérieures rendues visibles*.

Nos études ont été effectuées avec un modèle de barrage à l'échelle de 1/500 découpé dans une feuille de xylonite contre lequel une pression répartie comme celle de l'eau était produite par une pièce métallique avec interposition d'une feuille de caoutchouc.

Nos résultats restent valables autant que l'hypothèse suivante reste en vigueur : *les propriétés élastiques du corps de barrage et de sa fondation sont identiquement les mêmes, le corps et la fondation forment ensemble un bloc monolithique, homogène et isotrope.*

La figure 1 présente un dessin de lignes isostatiques du barrage de Bouzey, obtenu avec des lignes isoelines (en pointillé).

L'analyse des lignes isostatiques nous permet de constater que, le long du parement aval, le maximum des pressions normales agissant sur un élément plan perpendiculaire au parement aval, se trouve au voisinage du

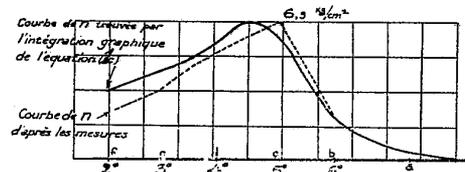


Fig. 2.

point n° 5 (voir fig. 2). Ce résultat découle de l'équation de l'élasticité en coordonnées isostatiques

$$(1) \quad \frac{\partial N_1}{\partial s_1} + \frac{N_1}{R_1} = 0$$

(N_2 étant égale à zéro au parement aval).

Les mesures de tensions faites avec un compensateur Jamin-Babinet le confirment, comme on le voit sur le graphique (fig. 2).

On voit que, *sans tenir compte du poids de l'ouvrage* (ce qui est difficile à reproduire au laboratoire), le maximum de l'effort normal parallèle au parement aval est de 6,9 kg/cm², ce chiffre est trop faible pour pouvoir produire une catastrophe, même en tenant compte de la pression qui peut provenir du poids du barrage (l'effort obtenu au modèle est 3,1 kg/cm², le coefficient de similitude est 1,92).

En raison de différents défauts de notre installation nous avons vérifié la marche de la courbe des efforts en nous servant de l'intégration graphique de l'équation (1). Le graphique nous montre que le caractère de deux

courbes est sensiblement le même (elles ne peuvent pas coïncider exactement, l'une se rapportant au contour, et l'autre aux points éloignés de 2^{mm} du contour).

Le résultat le plus intéressant est fourni par la figure 1. On remarque que la ligne pointillée représentant la ligne de rupture de l'ouvrage ⁽¹⁾ appartient à une des familles de lignes isostatiques, lieu des points où les efforts tangentiels sont égaux à zéro. Par conséquent la rupture s'est produite suivant une ligne isostatique, *elle est donc due aux efforts normaux*, ce que les experts ont conclu. D'ailleurs la tangente de la ligne de rupture est loin de former un angle de 45° avec les lignes du contour, ce qui devrait avoir lieu au cas où la rupture serait due au cisaillement.

En raison des efforts normaux assez faibles pour produire une catastrophe sans autres circonstances supplémentaires, nous avons encore étudié les lignes isoclines pour le cas d'une déféctuosité de la maçonnerie au voisinage du point de rupture au parement amont. Dans ce but on a fait au point A une très mince entaille de profondeur égale à $\frac{1}{80}$ de la hauteur du barrage. On a pu constater que les lignes isoclines ne diffèrent de celles de la figure 1 qu'au voisinage immédiat de l'entaille et par conséquent que la ligne de rupture appartient, même dans ce cas-là, à une famille de lignes isostatiques, car elles restent sensiblement les mêmes dans les deux cas, sauf au voisinage du point A.

La conclusion que nous tirons de nos expériences peut susciter l'objection suivante : les lignes isostatiques étant obtenues par des efforts ne dépassant pas la limite d'élasticité, conservent-elles leur forme une fois que cette limite est dépassée lors d'une rupture ?

Nous ne croyons pas cette objection fondée.

En effet on sait que la déformation des pierres et des ciments ne suit pas la même loi que celle des métaux et que la limite d'élasticité n'existe pas, leur rupture se produit *brusquement* dans la période élastique, par conséquent nous croyons pouvoir affirmer que les lignes obtenues sont valables tant pour les petits que pour les grands efforts et que la ligne de rupture appartient effectivement à une famille de courbes isostatiques correspondant à la pression hydrostatique exercée sur le contour étudié.

Nous croyons ainsi pouvoir conclure que *la rupture du barrage de Bouzey a été produite par arrachement et non par cisaillement.*

(1) La ligne de rupture ainsi que le profil du barrage de Bouzey sont tirés de l'ouvrage de M. Bonnet, *Cours de Barrages*, Paris, 1920.