Sciences & Technologie – N°17, Juin (2002), pp. 61-64.

STABILITE D'UN BARRAGE-POIDS EN PRESENCE D'UNE FISSURE : APPORT DE LA MECANIQUE DE L'ENDOMMAGEMENT

Reçu le 29/06/1999 – Accepté le 09/06/2002

Résumé

Dans cette étude, on s'intéresse à la prévision de l'amorçage des fissures à la partie la plus sollicitée d'un barrage-poids pendant son remplissage. La présence d'une fissure dans le pied amont a un rôle primordial sur la stabilité du barrage puisqu'elle joue le rôle d'un milieu poreux donc plus perméable que la matrice (cette approche est en partie justifiée par le fait que la fissure est complètement remplie d'eau et de débris rocheux).

Pour rendre compte de façon cohérente du rôle de la pression interstitielle dans la fissure, le recours à la mécanique du milieux poreux est nécessaire. Nous proposons d'étudier la stabilité d'un barrage-poids en présence d'une fissure au pied-amont, en utilisant comme critère de l'extension irréversible de la fissure, la valeur critique de l'endommagement du béton.

La hauteur critique de remplissage sera la valeur pour laquelle le dommage atteint sa valeur critique, c'est-à-dire une valeur pour laquelle il y'a décohésion de la matière.

Mots clés: *Amorçage, fissures, stabilité, matrice, pression interstitielle, endommagement, hauteur critique.*

Abstract

In this study one is interested in the forecasting of the crack beginning to the part the more solicited of a dam - weight during its replenishment. The presence of a crack in the foot uphill has a primordial role on the stability of the dam since it plays the role of a porous environment therefore more permeable than the matrix (this approach is justified in part by the fact that the crack is filled completely of water and rocky remnant).

To give account of coherent way of the interstitial pressure role in the crack the recourse to the mechanics of the porous surroundings is necessary. We propose to study the stability of a dam - weight in presence of a crack to the foot - uphill, while using like criteria of the irreversible extension of the crack, the value critical of the damage of the concrete.

The height critical of replenishment will be the value for which the damage reaches its critical value, that is to say a value which involves the rupture of matter.

Keywords : *Starting, cracks, stability, matrix, interstitial pressure, damage, critical height.*

D. BENZERGA
Département de Mines
et Métallurgie
U.S.T.O., B.P.1505 El M'Nouar
31000 Oran, Algérie

M. DJELLOULI
Département d'Hydraulique
U.S.T.O., B.P.1505 El M'Nouar
31000 Oran, Algérie

ملخص

تهتم هذه الدراسة بالإعلان المسبق عن الشقوق وبداية التشققات في المنطقة الأكثر تعرضا للتأثيرات الخارجية أثناء ملئ السد الثقلي. إن لظهور التشققات عند حافة عالية السد وذلك لأنها تلعب دور الوسط المسامي حيث تزداد النفادية (هذا ما يعلل بالامتلاء التام الشق بالماء وفتات الصخور). وللإلمام وربط دور الضغوط البينية في الشقوق فإن اللجوء إلى ميكانيك الأوساط المسامية أمر ضروري وذلك من خلال نمذجة لسلوك البيتون لتوقع الجانب الأمني للسد. نقترح دراسة سد نقلي بوجود شقوق عند حافة عالية السد و ذلك باستعمال ميكانيك التصدع للحصول على ارتفاع المسموح به.

الكلمات المفتاحية: *السد الثقلي، بداية التشققات، الشقوق، الضغوط.*

Dans le domaine de dimensionnement des barrages-poids, les anciennes études de stabilité ne prenaient pas en considération le rôle de la pression interstitielle. De ce fait, certains ouvrages se trouvent souvent à leur limite de stabilité, voire même sous-dimensionnés.

Depuis le début du siècle, ce sont les travaux de Maurice Lévy [1] ou Oscar Hoffmann [1] qui ont pratiquement fixés les études de stabilité des barrages-poids. Ces travaux prennent en considération deux points essentiels: le rôle de la pression interstitielle et la faiblesse du béton vis-à-vis de la traction et du cisaillement. Ces méthodes s'appuient sur des hypothèses simplificatrices qui ne se place pas forcément du côté sécuritaire.

Dans cette étude, appliquons le concept de la mécanique de l'endommagement pour étudier la stabilité des barrages-poids en présence d'une fissure, et comparer nos résultats à ceux obtenus par les méthodes de non glissement, de M. Levy et O. Hoffmann [1].

METHODES CLASSIQUES

Une fois les conditions d'équilibre statique écrites, les études classiques considèrent des hypothèses supplémentaires, concernant le critère de résistance de l'interface [BC], tel que:

$$\alpha = \frac{BC}{AC} \in [0,1]$$

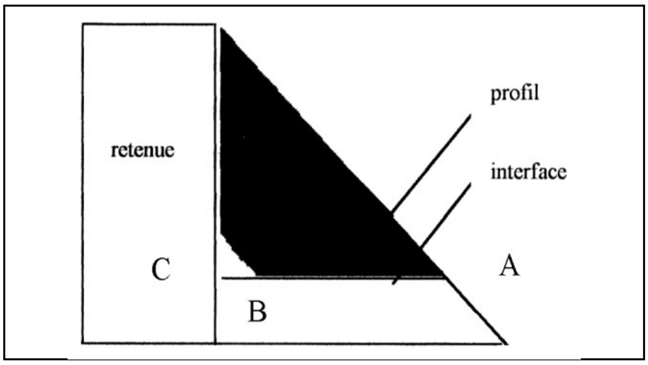

Figure 1: Effet des sous pressions sur une fissure horizontale.

Les méthodes classiques les plus courantes sont:

- La condition de stabilité au glissement, qui considère la résistance globale le long de la ligne [AC].
- La condition de Lévy et celle d'Hoffmann, toutes deux prennant en considération, de manière simplifiée, la propagation de la fissure [BC] (Fig.2) sous l'effet de forte traction verticale [1].

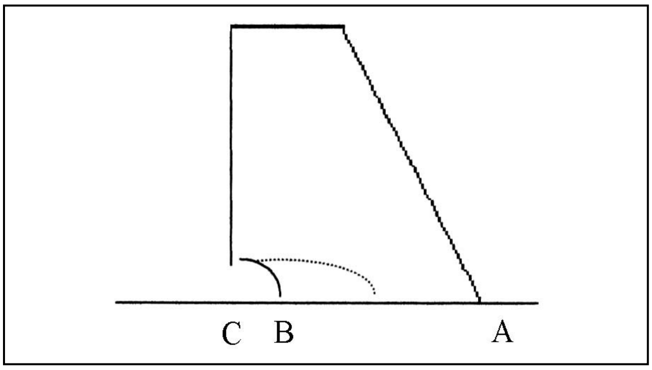

Figure 2: Propagation de la fissure.

Stabilité au glissement

L'étude de stabilité globale au glissement suppose que l'interface [AC] satisfasse un critère de type Mohr-Coulomb répondant au principe des contraintes effectives de Terzaghi. Le critère de résistance s'écrit:

$$\{\forall\, M \in [AB],\ |\sigma_T| + \mathrm{tg}\phi\,(\sigma_N + p) - C \le 0$$
$$\{\forall\, M \in [BC],\ |\sigma_T| + \mathrm{tg}\phi\,(\sigma_N + p) \le 0$$

où :

σ_N : la composante normale de la contrainte appliquée par l'extérieur sur la facette horizontale de la base du barrage.

σ_T : la composante tangentielle de cette contrainte.

ϕ : l'angle de frottement de l'interface .

C : la cohésion de l'interface.

P: la répartition de la pression interstitielle le long de [AC].

La compatibilité entre les équations d'équilibre et le critère de résistance donne:

$$Q + \mathrm{tg}\phi\ (V - P) - \mathrm{C}(1 - \alpha)1 \le 0$$

où Q est la résultante des forces appliquées au profil par la pression hydrostatique de la retenue, V la force de sous pression et P le poids du profil.

Condition de Lévy

Pour cette condition, on cherche à vérifier qu'en aucun point de l'interface, la contrainte σ_N ne dépasse une limite en traction donnée.

Le long de la fissure [BC], on suppose que l'interface a perdu toute résistance à la traction et au cisaillement. La contrainte σ_N y est supposée égale à $-p$. P est la pression interstitielle, supposée égale à la pression de la retenue le long de [BC].

On note (Fig. 3):

W: la résultante des efforts exercés par la pression interstitielle le long de [BC].

R' : la réaction exercée par le reste de l'ouvrage sur le profil le long de [AB].

T' : la norme de la composante tangentielle de la réaction R'.

N' : la norme de la composante normale de la réaction R'.

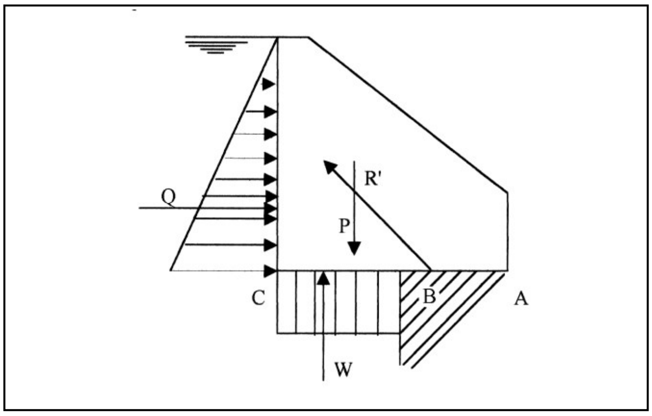

Figure 3: Diagramme des forces agissant sur un barrage-poids.

En supposant que la répartition des contraintes normales est linéaire le long de [AB], les équations d'équilibre conduisent à:

$$\sigma_N(B) = \frac{6M(R')}{(1-\alpha)^2 1^2} + \frac{2N'}{(1-\alpha)1}$$

L'interface ayant une résistance à la traction notée σ_O, son critère de résistance vérifie une hypothèse de type de Terzaghi. La contrainte normale σ_N doit vérifier:

$$\forall M \in [AB],\ \frac{6(M(R'))}{(1-\alpha)^2 1^2} + \frac{2N}{(1-\alpha)1} \le \sigma_0 - p$$

La compatibilité entre cette condition de stabilité et les équations d'équilibre conduit à:

$$-\frac{6(M(P) + M(Q) + M(W))}{(1-\alpha)^2 1^2} + \frac{2(P - W)}{(1-\alpha)1} \le \sigma_0 - p$$

Condition d'Hoffmann

Pour s'assurer de la stabilité de l'ouvrage, cette condition propose de vérifier que si une fissure apparaît, elle ne"tend pas à se propager ultérieurement". Ainsi, les conditions de statique doivent donc augmenter la contrainte de compression au bout de la fissure, et on doit donc écrire:

$$\frac{d\sigma_N}{d\alpha} \le 0$$

$$\sigma_N(B) = -\frac{6(M(P)+M(Q)+M(W))}{(1-\alpha)^2 l^2} + \frac{2(P-W)}{(1-\alpha)l}$$

En dérivant cette expression par rapport à α, et en tenant compte du fait que seul W dépende de α, on obtient:

$$-\frac{6}{(1-\alpha)^2 l^2}\frac{dM(W)}{d\alpha} - \frac{2}{(1-\alpha)l}\frac{dW}{d\alpha}$$
$$-\frac{12(M(P)+M(Q)+M(W))}{(1-\alpha)^3 l^2} + \frac{2(P-W)}{(1-\alpha)^2 l} \le 0$$

MECANIQUE DE L'ENDOMMAGEMENT

Dans ce paragraphe, nous proposons les éléments théoriques essentiels de la mécanique de l'endommagement nécessaires à la présente étude [2].

Elasticité couplée à l'endommagement

C'est le cas des matériaux dans lesquels les effets de plasticité sont peu important. C'est l'exemple du béton pour lequel les déformations non-linéaires sont produites par les décohésions que l'on peut représenter à l'aide d'une théorie de l'endommagement.

Dans le cas de l'élasticité isotrope couplée à l'endommagement isotrope, la loi d'élasticité du matériau endommagé s'écrit:

$$\varepsilon = A : \tilde{\sigma}$$

où:

$$\varepsilon = \frac{1+\upsilon}{E}\frac{\sigma}{1-D} - \frac{v}{E}\frac{Tr(\sigma)}{1-D}1$$

Cette relation doit être associée à la loi d'endommagement choisie.

En traction uniaxiale, on suppose que l'endommagement D évolue en fonction des déformations (élastiques). En introduisant un seuil ε_D au-delà duquel le matériau subit un dommage, la loi d'endommagement s'écrit:

$$D = \begin{cases} \left(\dfrac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\right)^{S^*} d\varepsilon & \text{lorsque } \varepsilon = \varepsilon_D \text{ et } d\varepsilon > 0 \\ 0 & \text{lorsque } \varepsilon < \varepsilon_D \text{ ou } d\varepsilon < 0 \end{cases}$$

En intégrant la relation ci-dessus et en prenant comme conditions initiales $D = \varepsilon = 0$, on obtient:

$$D = \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_R}\right)^{S^*+1}$$

avec:

$$\varepsilon_R = \left[(S^*+1)\varepsilon_0^{S^*}\right]^{\frac{1}{S^*+1}}$$

Nous considérons ici, que le barrage est dans des conditions de stabilité et que la valeur du dommage calculée au fond de la fissure (point B) n'atteint pas sa valeur critique D_C (valeur critique qui dépend du matériau).

Le problème consiste alors à déterminer la valeur du dommage au point B pour chaque hauteur de remplissage. La hauteur critique à ne pas dépasser sera celle pour laquelle l'endommagement atteint sa valeur critique au bout de la fissure.

APPLICATION: LE CAS DU PROFIL TRIANGULAIRE

Nous étudions ici la stabilité du barrage de Brezina, situé à quelques kilomètres en aval du village de Brezina. La construction de ce barrage avait pour but essentiel de retenir les crues de l'oued Seggueur. Le barrage à un profil triangulaire de hauteur h et dont la base a une longueur l (Fig.4). L'endommagement est supposé se produire suivant un seule direction (direction verticale). Il est dû aux défauts de liaison pâte-grains constituant des microfissures suite au retrait et aussi aux pores qui emprisonnent des bulles d'air lors du moulage.

On appelle fruit du barrage le rapport $m = l/h$ que l'on détermine pour s'assurer des conditions de stabilité. Nous noterons ρ_b la masse volumique du béton et ρ_W la masse volumique de l'eau. On a alors les expressions explicites suivantes:

$$P = \rho_b g\frac{h^3 m}{3} \qquad M(P) = \rho_b g\frac{h^3 m^2}{3}$$
$$Q = \rho_W g\frac{h}{2} \qquad M(Q) = -\rho_W g\frac{h^3}{6}$$

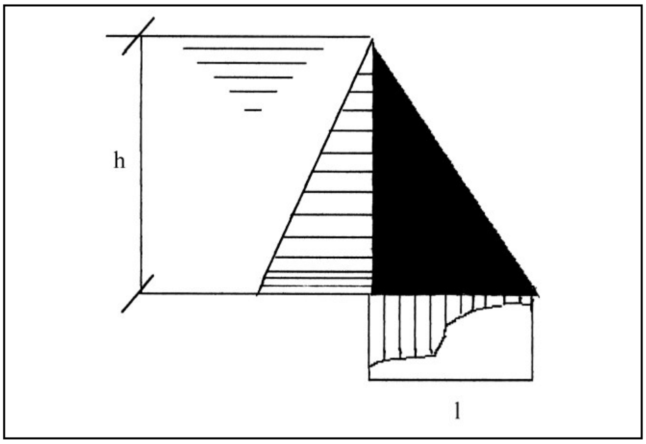

Figure 4: Diagramme réel des sous-pressions sur la base fissurée du barrage-poids.

En supposant que l'on ait une répartition linéaire des sous pressions en aval de la zone fissuré (Fig. 5), on a:

$$V = \rho_W g(1+\alpha)\frac{mh^2}{2}$$

Enfin, on obtient:

$$W = \rho_W g m \alpha h^2$$
$$M(w) = -\rho_W g\alpha(2-\alpha)\frac{h^3 m^2}{2}$$

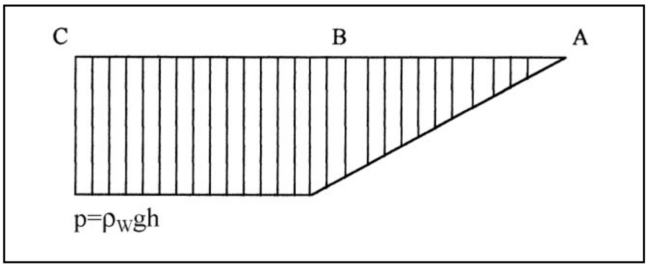

Figure 5: Répartition linéaire des sous pressions en aval de la fissure.

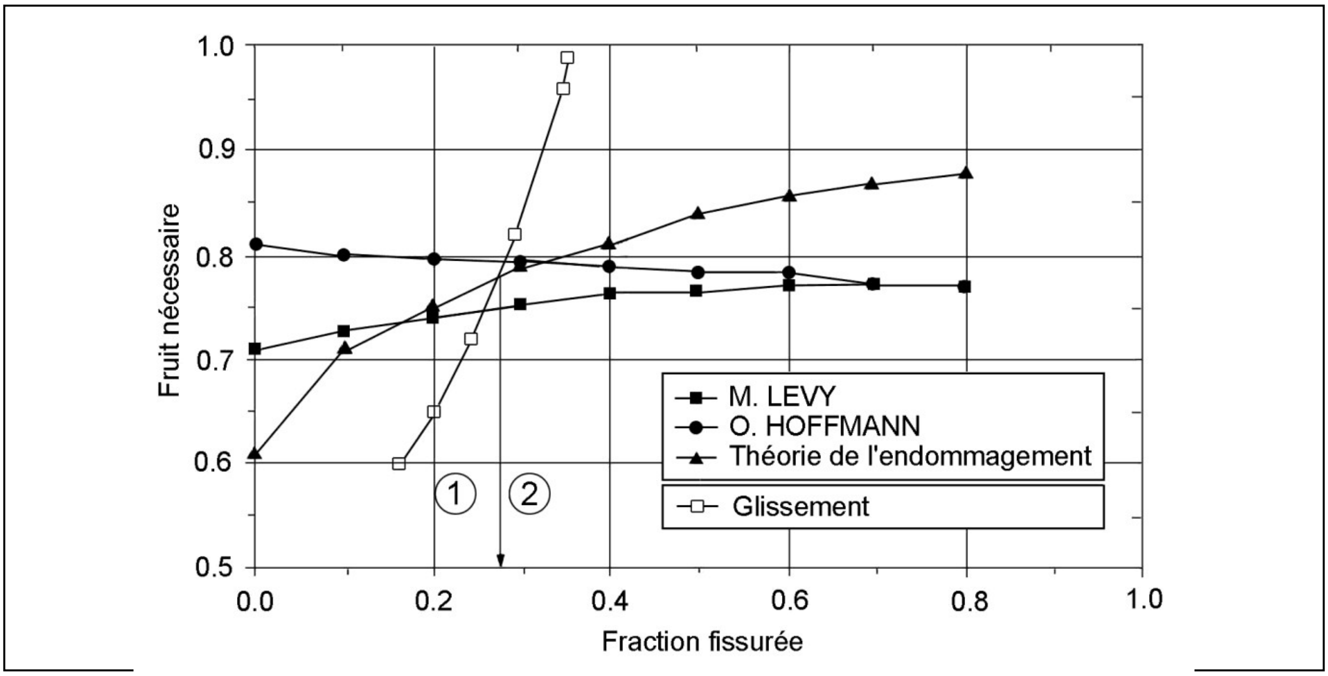

Figure 6: Fruit "nécessaire" pour assurer les conditions de stabilité en fonction de la fraction fissurée α.

A L'aide des relations explicites ci-dessus, on peut formuler les conditions de stabilité en fonction du fruit m.

Les différents paramètres adoptés dans les applications numériques ont pour valeurs: h = 130 , m, c = 0,8 MPa, tgϕ = 0,75, σ_0 = 0,8 MPa et $\rho_b = 2{,}85\ \rho_W$.

La figure 6 donne, en fonction de la fraction fissuré α de l'interface, le fruit nécessaire pour assurer la stabilité du barrage. Les zones de stabilité sont situées au-dessus des courbes.

CONCLUSION

Pour une longueur inférieure à 25% de la base, les conditions de Lévy et de non-glissement sont satisfaites pour un fruit de 0,75. Notons que ces conditions de stabilité sont moins sévères que la condition de la mécanique de l'endommagement et celle d'Hoffmann. On remarque aussi que pour une fraction fissurée supérieure à 35%, le fruit nécessaire pour la stabilité, dans la méthode de glissement, est de 1. Cependant, pour des valeurs de α supérieures à 25%, la condition fournit par la mécanique de l'endommagement devient moins sévère que celles de Lévy et d'Hoffmann, en raison du mécanisme de rupture interprété par la mécanique de l'endommagement. Bien qu'extrêmement simplifiée, cette approche permet de prédire la défaillance des profils insuffisants.

REFERENCES

[1]- Carrere A., Coussy O. et Fauchet B., "Stabilité des barrages-poids: apport de la mécanique des milieux poreux", Annales des ponts et chaussées,3ème trim., (1990).

[2]- Lemaitre J. et Chaboche J.L., "La mécanique des matériaux solides", édit. Dunod, Paris, (1988).