



Doctoral Thesis

Les barrages en voûte mince étude de l'action de coque et de l'effet de torsion

Author(s):

Lombardi, Jean

Publication Date:

1954

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000090331> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Thèse n° 2261

LES BARRAGES EN VOUTE MINCE

Etude de l'action de coque et de l'effet de torsion

THÈSE

PRÉSENTÉE A L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE, ZURICH,
POUR L'OBTENTION DU GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES TECHNIQUES

PAR

JEAN LOMBARDI

Ingénieur civil
de Airolo, Suisse

Rapporteur : M. le prof. Dr P. LARDY

Corapporteur : M. le prof. G. SCHNITTER

LAUSANNE

F. ROUGE & CIE S. A., EDITEUR ET LIBRAIRE

1954

Chapitre VI

CONCLUSIONS ET RÉSUMÉ

1. Conclusions

En résumant les divers résultats obtenus au cours de cette étude, il est possible de conclure comme suit :

a. Théorie des coques et barrages minces. — La théorie des coques semble apte à représenter l'état de sollicitation et le comportement statique d'un barrage en voûte, si celui-ci n'est pas trop épais. Dans l'état actuel de la question, il paraît opportun de fixer le rapport limite entre l'épaisseur et le rayon de courbure à environ $1/5$.

Il y a lieu cependant de mentionner certaines difficultés rencontrées au sujet des conditions aux limites, notamment le long du couronnement; mais on devrait pouvoir les éliminer en développant les études théoriques.

b. Effort tranchant. — Les équations différentielles des coques négligent les déformations dues aux efforts tranchants; c'est sans doute leur principale faiblesse. Il ne devrait pas être impossible de généraliser ces équations, encore que le problème ne soit pas des plus simples. Faute de pouvoir le résoudre, on pourrait chercher à tenir compte des déformations dues à l'effort tranchant par des artifices de calcul.

On a pu voir lors de l'étude de l'arc indépendant que l'influence de cet effort n'est plus négligeable dès que le rapport entre l'épaisseur et le rayon atteint $1/5$.

c. Effet de torsion. — L'effet de torsion semble être particulièrement important et statiquement favorable. Il croît avec l'épaisseur du barrage, c'est-à-dire avec le rapport $K/D r^2$, le rapport h/r ou h/H ou encore $h/r \psi$. Cela tient au fait que la torsion est un effet de dalle.

Lorsqu'il s'agit de tenir compte de l'effet de la torsion, la méthode des arcs-murs généralisée donne d'excellents résultats, comme le montre l'exemple numérique traité, et son application est aisée. Par rapport aux résultats du calcul habituel, on constate une diminution générale des sollicitations dans la région centrale du barrage; celui-ci apparaît, d'ailleurs, plus raide. Par contre, dans les régions latérales, les contraintes principales sont généralement plus grandes que celles que donne le calcul habituel.

d. Efforts tangentiels. — Les efforts tangentiels jouent un rôle assez important dans le comportement statique du barrage. Ils tendent eux aussi à raidir le barrage. On voit ainsi que, dans l'ensemble, le barrage paraît d'autant plus rigide que la méthode de calcul est plus complète.

Par ailleurs, la différence, due aux moments de torsion, existant entre les efforts tangentiels pour deux directions perpendiculaires reste faible. Les trajectoires relatives à l'effet de membrane peuvent donc être rendues orthogonales.

e. Equations différentielles. — L'exemple étudié indique que, même pour des barrages cylindriques, il convient de tenir compte des déplacements verticaux; bien que petits, ceux-ci ont, en effet, une influence certaine sur le comportement du barrage.

Notons que de nombreuses questions restent à résoudre; elles sont en particulier relatives à l'établissement des équations différentielles pour les barrages non cylindriques, au choix du système différentiel le plus adéquat et aux conditions aux limites. Rappelons enfin le danger qu'il y a à se servir de systèmes abusivement simplifiés (cf. le troisième complément).

f. Méthode de la superposition la plus adéquate. — Bien qu'elle puisse être perfectionnée et développée, la méthode de la superposition la plus adéquate s'avère applicable au calcul des barrages en voûte.

g. Déformations non élastiques. — La méthode du blocage (cf. le premier complément) semble être particulièrement efficace pour tenir compte des déformations non élastiques. Elle doit être susceptible de nombreuses applications.

h. Déformations du terrain. — L'influence de la déformabilité du terrain sur le comportement du barrage est en général très sensible. Bien que ce sujet sorte du cadre de cette étude, nous nous livrerons ici à quelques considérations relatives aux méthodes de calcul.

La méthode de l'itération ne semble applicable que si le barrage est très mince et le terrain peu déformable. Dans les autres cas, il est préférable d'avoir recours à l'artifice de Vogt, encore que ce procédé laisse de nombreuses questions en suspens. En effet, la théorie des déformations du sol a été établie pour servir aux méthodes de statique appliquée, et ne s'adapte que malaisément au calcul des barrages par la théorie des coques.

i. Trajectoires. — On constate que toutes les trajectoires sont incurvées vers le bas, surtout dans la partie inférieure du barrage. Ce fait semblerait confirmer les vues de Coyne sur les arcs plongeants. Il n'est pas nécessaire, relevons-le, de faire intervenir la charge permanente pour qu'il en soit ainsi.

On aura aussi remarqué combien les divers réseaux diffèrent les uns des autres, ce qui rend extrêmement difficile, sinon impossible, le choix d'arcs indépendants qui se substitueraient convenablement au barrage.

k. Développements. — S'il a été possible de présenter ici une ébauche du calcul des barrages en voûte en tant que coque, il n'est pas moins vrai que les méthodes employées restent éminemment perfectibles et qu'elles sont loin de leur forme définitive.

Dès maintenant, il est, en effet, possible d'entrevoir de nombreux développements, portant sur l'établissement des équations différentielles relatives aux barrages à courbure variable, sur la prise en considération de l'effort tranchant ou de l'effet de Poisson, sur

un meilleur accord entre le calcul concernant le terrain et celui de la coque, sur l'application du calcul mécanique et enfin sur le perfectionnement de la méthode de la superposition la plus adéquate.

1. Conclusion générale. — Pour conclure, relevons que si le calcul des barrages minces comme coques est théoriquement possible, il n'enlève pas leur importance aux autres méthodes de calcul et de contrôle, et notamment aux méthodes de statique appliquée ainsi qu'aux essais sur modèles réduits.

Bien plus, conformément à la tendance actuelle, cette méthode de calcul doit être utilisée concouramment avec les divers procédés mis à la disposition de l'ingénieur; ainsi seulement une solution suffisamment exacte des problèmes très complexes que posent les barrages en voûte pourra être obtenue.

2. Résumé

Cette étude envisage tout d'abord le problème statique posé par le barrage en voûte d'une manière aussi générale que possible, sous le double aspect du complexe barrage-terrain et de celui de la théorie des coques. Grâce à l'emploi d'une solution initiale et de la méthode du blocage, le calcul d'un barrage en voûte est ramené à un problème de déformations élastiques.

A l'aide d'un calcul d'itération et de l'artifice de Vogt, on réduit alors le problème du barrage mince à celui d'une coque dont les charges sont connues et les déformations aux limites imposées.

On établit ensuite les systèmes d'équations différentielles susceptibles de s'appliquer au calcul d'une coque cylindrique d'épaisseur variable.

Pour intégrer ces équations, la méthode de la superposition la plus adéquate est proposée. Elle peut être appliquée à tous les cas de barrages sous réserve de quelques conditions fort peu restrictives.

Parallèlement, la méthode des arcs-murs a été généralisée en vue de la prise en considération de l'effet de torsion.

Dans un dernier chapitre, on donne quelques exemples d'applications numériques des théories développées précédemment.

Un premier complément expose la méthode du blocage, méthode permettant le calcul des déformations non élastiques.

Un deuxième complément contient une étude de l'équilibre des forces autour d'un point de la surface médiane d'une coque, et généralise la notion des cercles de Mohr. La représentation des efforts qui en résulte s'avère particulièrement utile.

Un dernier complément est consacré à la discussion de la méthode de Tölke.