

Zeitschrift: IABSE publications = Mémoires AIPC = IVBH Abhandlungen

Band: 36 (1976)

Artikel: Etude et essais sur modèle d'un caisson de réacteur en béton précontraint, à cavités multiples : analyse numérique non linéaire du modèle du caisson

Autor: Paquet, M. / Rebora, B. / Zimmermann, Th.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-919>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 29.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

PARTIE II

Analyse numérique non linéaire du modèle du caisson

M. PAQUET, B. REBORA, TH. ZIMMERMANN,

Ingénieurs à l'Institut de production d'énergie et travaux hydrauliques
de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.

1. But et méthode du calcul

L'analyse numérique a deux buts. Tout d'abord, de définir le comportement du modèle physique en stade linéaire puis non linéaire jusqu'à la ruine. Ensuite, d'effectuer l'ajustement du modèle mathématique pour son application ultérieure au calcul des caissons en vraie grandeur, et éventuellement d'éviter des essais coûteux.

L'analyse en stade non linéaire doit permettre par ailleurs d'étudier les développements de la fissuration dans le caisson et d'en localiser les éventuelles failles. Le schéma de fissuration ultime en résulte ainsi que la charge de ruine.

La méthode des éléments finis que l'on applique ici est combinée pour la solution du problème non linéaire avec une technique itérative du type «contraintes initiales» [1]. La méthode a déjà été appliquée avec succès au calcul d'une dalle et d'un caisson de réacteur [2], [3], ainsi qu'à différents problèmes de fondations [4]. La formulation non linéaire des lois des matériaux et la méthode d'analyse ont été décrites antérieurement [5], [6], [7].

2. Modélisation: géométrie, charges et matériaux

Le modèle est une réduction à l'échelle 1:20 du caisson projeté, après suppression des cavités horizontales secondaires sauf cinq. Il comprend trois plans de symétrie, son comportement est donc correctement représenté par un sixième de la structure. Malgré cela, la complexité géométrique reste telle que de nouvelles simplifications doivent être introduites. Le modèle est soumis à une pression uniforme dans toutes les cavités dont l'étanchéité est garantie par une peau en acier. Il est posé sur trois appuis.

2.1. Géométrie et charges

La modélisation adoptée simule un douzième du caisson. On la compare sur la fig. 1 à la géométrie réelle. Le réseau d'éléments défini comprend 110 éléments et 2475 degrés de liberté (3 déplacements par nœud). L'élément type isoparamétrique est également représenté sur la fig. 1.

Le choix de ce réseau résulte de la comparaison de 4 mailles calculées en stade linéaire élastique. On remarquera qu'on introduit ainsi 3 turbines supplémentaires. La peau d'étanchéité n'est pas simulée, sa participation, non négligeable dans l'essai, est prise en considération par une réduction de la pression interne calculée à partir des déformations des cavités.

La précontrainte annulaire et verticale est simulée comme la pression par une charge répartie (voir fig. 1). On tient compte dans la phase finale du calcul d'une augmentation de précontrainte résultant de la dilatation du caisson.

Ces hypothèses ne permettent toutefois pas de simuler le comportement jusqu'à la ruine complète de l'ouvrage.

2.2. Caractéristiques des matériaux

Le béton, tel que l'on en tient compte dans le calcul, a les caractéristiques suivantes:

- résistance à la compression simple (sur prisme)
- résistance à la traction
- résistance à la compression biaxiale
- module d'élasticité «instantané»
- coefficient de Poisson

$$\begin{aligned}\beta_p &= -460 \text{ kg/cm}^2 \\ \beta_z &= 46 \text{ kg/cm}^2 \\ \beta_b &= -598 \text{ kg/cm}^2 \\ E &= 300 10^3 \text{ kg/cm}^2 \\ v &= 0.2\end{aligned}$$

Le calcul ayant précédé l'essai, ces valeurs diffèrent de la réalité au jour de l'essai ($\beta_z \approx 75 \text{ kg/cm}^2$).

Les caractéristiques de la peau d'étanchéité et des câbles de précontrainte sont définies au paragraphe 3.2, première partie.

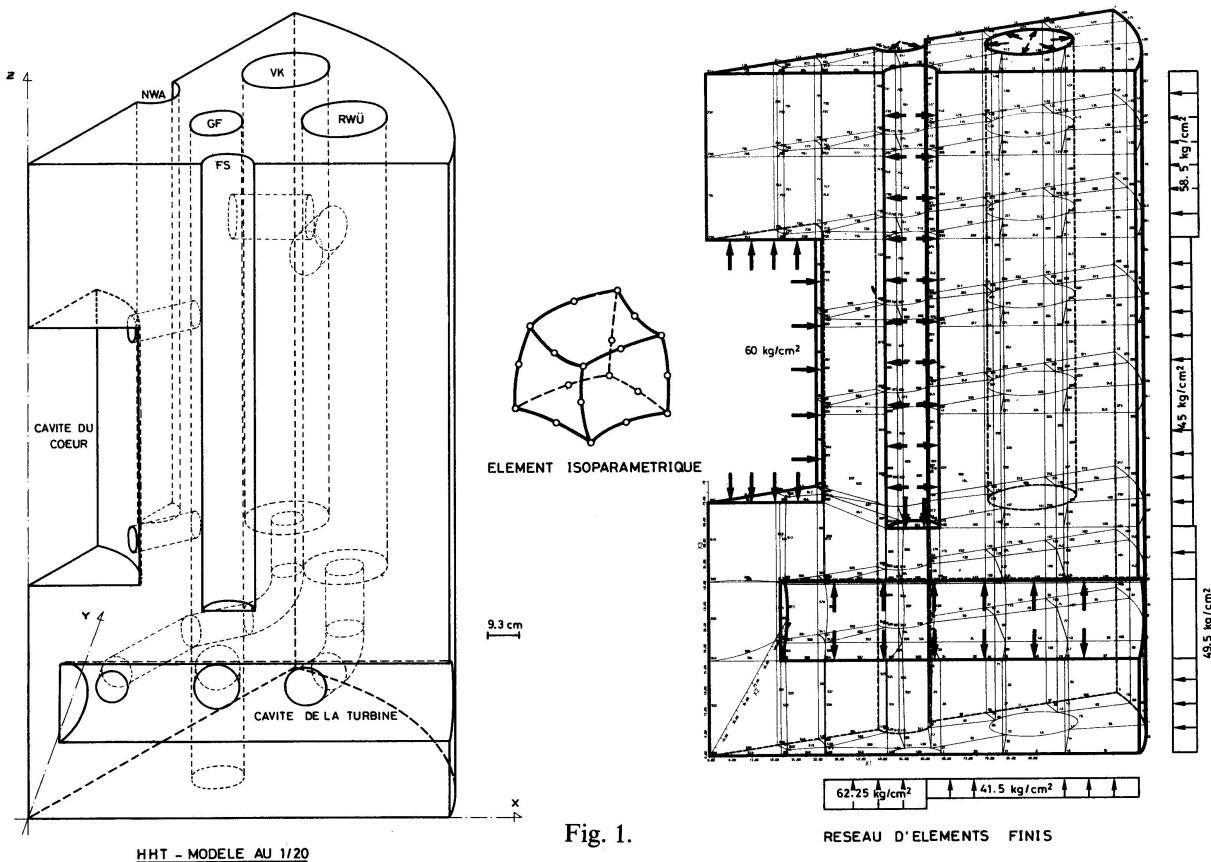


Fig. 1.

3. Analyse non linéaire

Jusqu'à 75 kg/cm^2 (pression d'essai), le comportement est élastique. Les premières fissures apparaissent à 85 kg/cm^2 dans la zone de convergence des turbines. À cette pression, on remarque l'apparition de fortes tractions entre les cavités externes et aux angles du cœur, zones fissurées dès 103 kg/cm^2 . À 117 kg/cm^2 , la contrainte de traction entre les cavités internes est proche de la rupture; la fissuration au niveau des turbines continue à se propager. De 129 à 133 kg/cm^2 , on observe entre les cavités internes un début de fissuration qui se propage et tend finalement à désolidariser la dalle supérieure du reste de la structure. À l'extérieur, la fissuration a presque achevé d'isoler une zone de la paroi dont l'équilibre

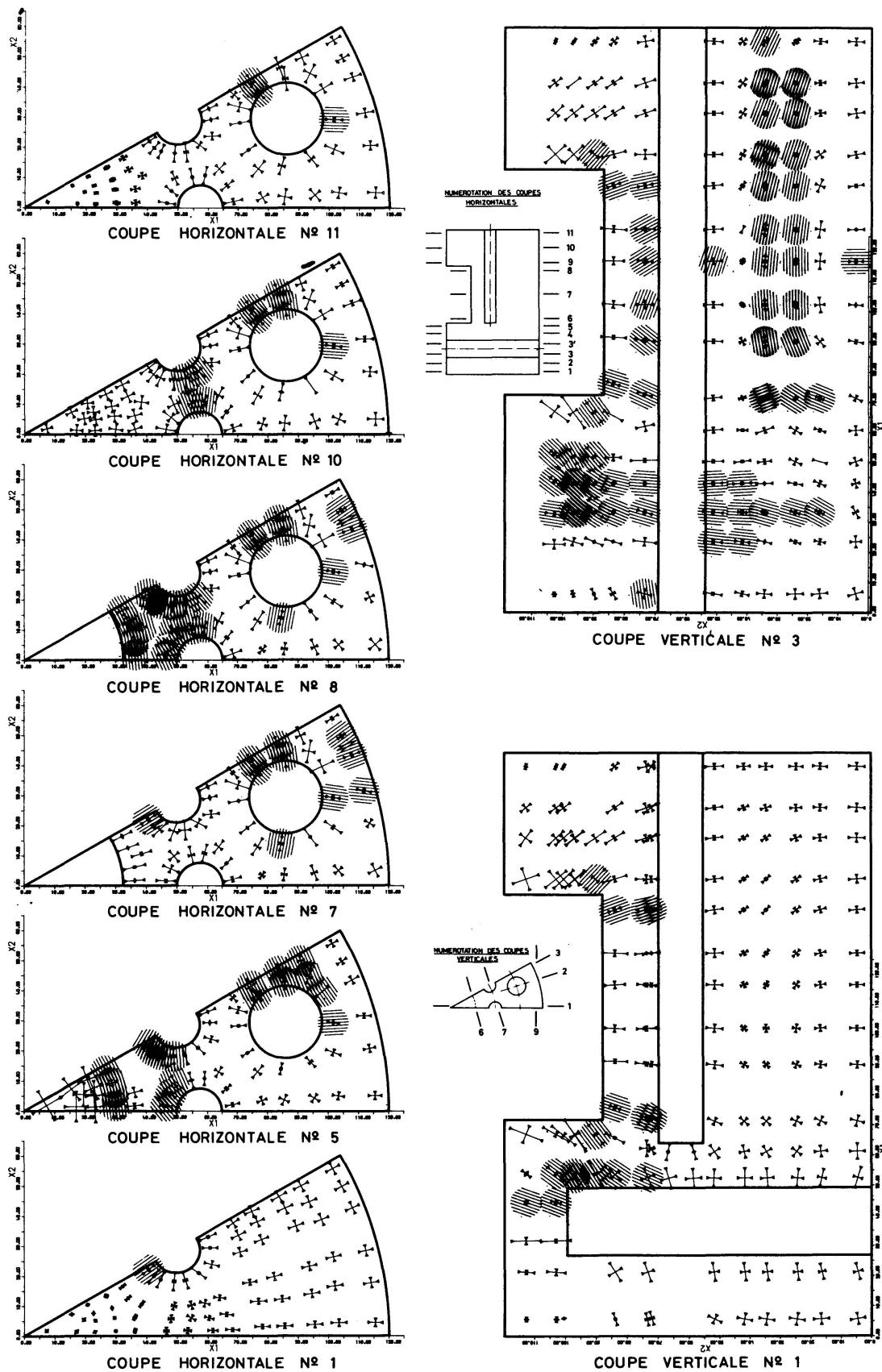


Fig. 2.

n'est désormais plus assuré que par les câbles annulaires. La fissuration horizontale dans la dalle inférieure continue à se propager (fig. 2).

L'analyse des résultats met en évidence les trois mécanismes suivants (fig. 3) :

- Séparation de la dalle inférieure* au niveau des axes des turbines. Cette rupture semble principalement due à la concentration de charge dans la zone de convergence des cavités horizontales. On notera toutefois que la modélisation utilisée altère le comportement réel de cette zone (en augmentant le nombre de turbines, on augmente la charge).
- Rupture entre les cavités externes et la paroi externe.* A 133 kg/cm^2 , il se forme un prisme vertical qui tend à se désolidariser de la structure. Les câbles de précontrainte continuent à résister seuls à la pression interne.
- Rupture entre les cavités internes puis séparation de la dalle supérieure.* L'action des câbles verticaux ne s'oppose que partiellement à la désolidarisation de cette zone.

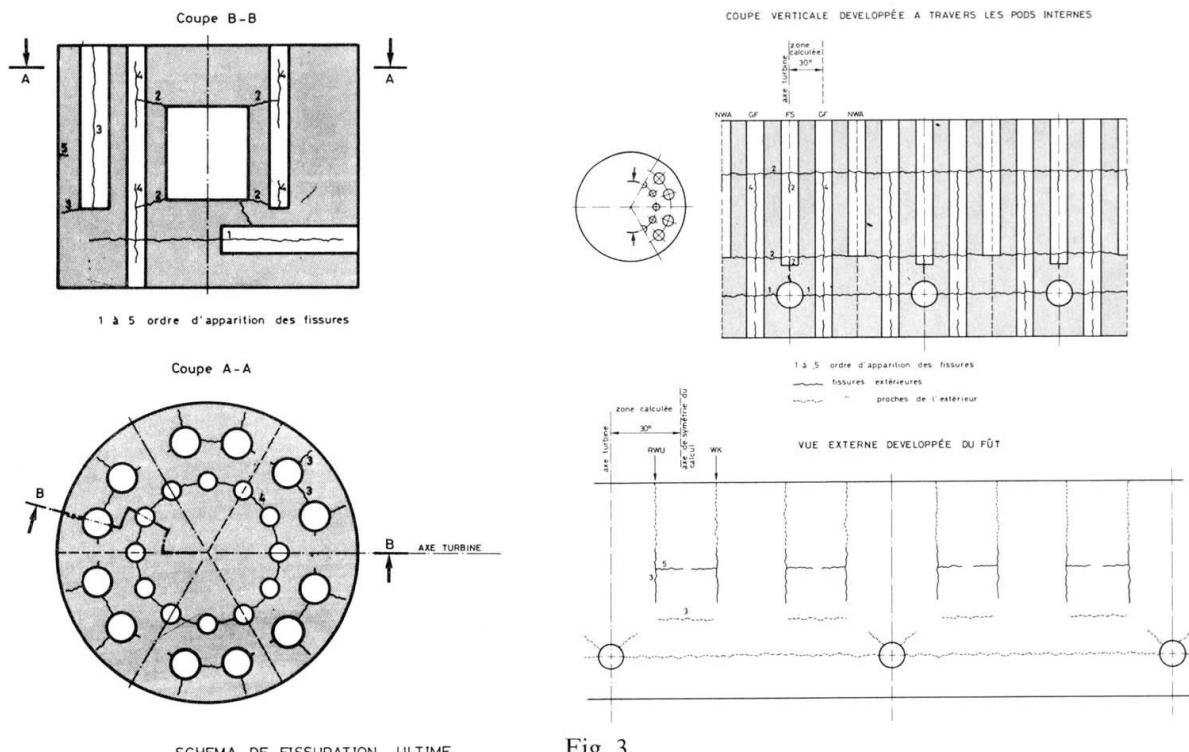


Fig. 3.

4. Discussion des résultats

Remarquons tout d'abord qu'aucune non-linéarité en compression n'apparaît, ni sous précontrainte seule, ni dans l'analyse jusqu'à la ruine. Au moment où la divergence du calcul signale la rupture, la fissuration est également avancée dans les trois mécanismes détectés. L'affaiblissement de la zone des turbines par une modélisation imparfaite n'a donc pas d'influence significative.

L'apparition du schéma de ruine dépend par contre fortement de la résistance à la traction et on peut prévoir qu'il aurait été retardé notablement avec la résistance effective au jour de l'essai. La valeur de la charge de ruine dépend, elle, surtout des câbles de précontrainte.