

# Etudes et réalisations françaises récentes de structures en béton soumises à des contraintes triaxiales

Autor(en): **Merot, Jean-Paul**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE reports of the working commissions = Rapports des commissions de travail AIPC = IVBH Berichte der Arbeitskommissionen**

Band (Jahr): **19 (1974)**

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-17502>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## Etudes et réalisations françaises récentes de structures en béton soumises à des contraintes triaxiales

*Recent french studies and realizations of concrete structures  
subject to triaxial stresses*

*Neue, projektierte und ausgeführte, französische Betonwerke,  
die dreiaxialen Spannungen ausgesetzt sind*

Jean-Paul MEROT  
Directeur Scientifique de la Société d'Etudes  
et d'Equipements d'Entreprises - Tour Europe  
• Paris-La Défense (France)

### I. Introduction - Structures envisagées

Tout ouvrage réel est soumis à des contraintes triaxiales, mais la plupart du temps on peut avec une très bonne approximation négliger l'effet de la triaxialité. Aussi les structures pour lesquelles l'ingénieur s'astreint à tenir compte de la triaxialité des contraintes sont elles assez rares. On peut citer principalement les barrages épais, les fondations massives de certaines machines, et les caissons de réacteurs nucléaires à gaz sous pression.

Dans les réalisations françaises récentes, les structures qui ont donné lieu aux études et aux expérimentations les plus intéressantes sont sans conteste les caissons de réacteurs de la filière graphite-gaz qui, tant par leurs dimensions que par les questions de sécurité extrêmement importantes qu'ils posaient, nécessitaient un soin particulier dans l'élaboration du projet et le contrôle et la surveillance de l'ouvrage.

En revanche, il n'y a pas eu récemment à notre connaissance de réalisations très marquantes dans le domaine des barrages ou des structures industrielles massives. Pour les barrages, en particulier, le rythme de leur construction a beaucoup baissé, en raison du haut niveau d'équipement déjà atteint. Mais les services d'E. D. F. et certains bureaux d'études spécialistes de barrages ont participé très activement à l'étude des caissons de réacteurs, et ont appliqué à cette occasion les techniques mises au point pour les barrages.

Plutôt que de tenter de faire une revue complète des structures soumises à des contraintes triaxiales, il a donc paru préférable de se limiter presque exclusivement aux caissons de réacteurs, domaine dans lequel la participation de la France est particulièrement importante et originale.

## II. Caractéristiques principales des caissons de réacteurs construits en France

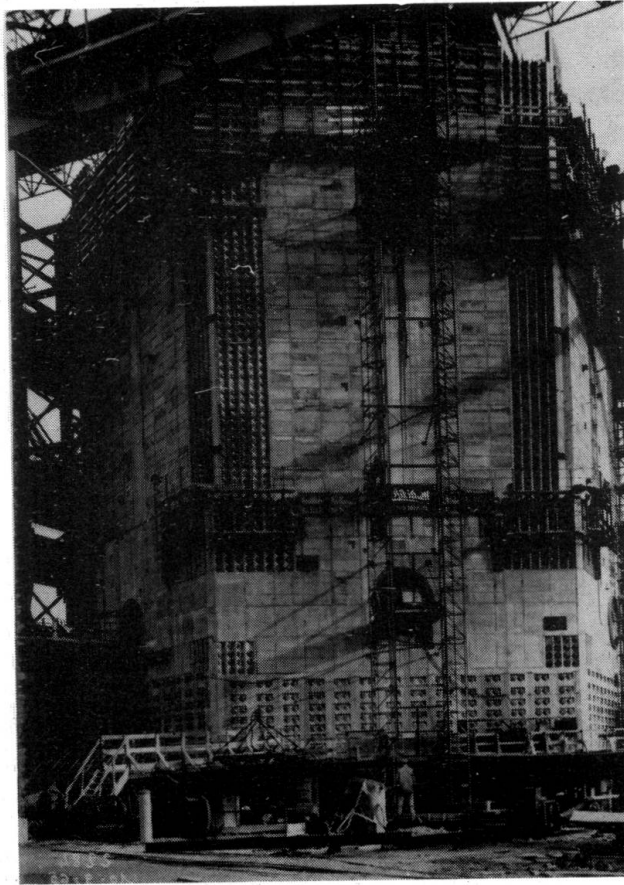
Tous ces caissons ont été construits pour des réacteurs de la filière graphite-gaz et contiennent donc du gaz carbonique en pression et en température. L'étanchéité est assurée par une tôle d'acier, appelée "peau", revêtant la face intérieure du béton précontraint. L'isolement thermique est assuré par un calorifuge fixé sur la peau et un système de refroidissement. De ce fait, le gradient de température dans l'épaisseur des parois est limité à moins d'une dizaine de degrés par mètre en régime permanent.

Pour les caissons des réacteurs G2 et G3 de Marcoule, la pression du gaz est de 15 bars. La structure a grossièrement la forme d'un cylindre horizontal fermé par des coupes hémisphériques à convexité tournée vers l'intérieur. La cavité intérieure a un diamètre de 14 m et une longueur minimum de 15,50 m. L'épaisseur des parois est de 3 m.

Pour le caisson d'E. D. F. 3 à Chinon, la pression du gaz est de 27 bars. La cavité intérieure est en gros un cylindre vertical de 19 m de diamètre et 21 m de hauteur. La forme extérieure de la structure est à peu près parallélépipédique. L'épaisseur minimale des parois est de 5 m.

Les caissons de Saint-Laurent-des-Eaux 1 et 2 et de Vandellos (Espagne), identiques, supportent une pression de gaz de 27 bars. La cavité intérieure est un cylindre vertical de 19 m de diamètre et 36 m de hauteur, fermé par des dalles planes. La forme extérieure du fût de la structure est hexagonale. L'épaisseur minimale des parois latérales est de 4,75 m, celle des dalles de 6 m et 5,66 m.

Le caisson de Bugey 1 est soumis à une pression de 43 bars. La cavité intérieure est un cylindre vertical de 17,10 m de diamètre et 40 m de hauteur, fermé par des dalles planes. La forme extérieure du fût est cylindrique, avec trois nervures d'ancrage des câbles en saillie. L'épaisseur de la paroi du fût est de 5,50 m, celle des dalles de 7,50 m.



Caisson de Saint-Laurent 1 en construction (photo Baranger)

Saint-Laurent 1 vessel during construction (Baranger photograph)

Saint-Laurent 1 Druckgefäß im Bau begriffen (Photo Baranger)

### III. Méthodes et programmes de calcul

Bien que les caissons de réacteurs aient quelques particularités les différenciant des structures courantes (symétrie de révolution plus ou moins parfaite, action de la température), les méthodes et programmes de calcul employés ont évidemment un champ d'application infiniment plus vaste.

D'une façon générale, les programmes utilisés sont basés sur la méthode des éléments finis, maintenant bien connue.

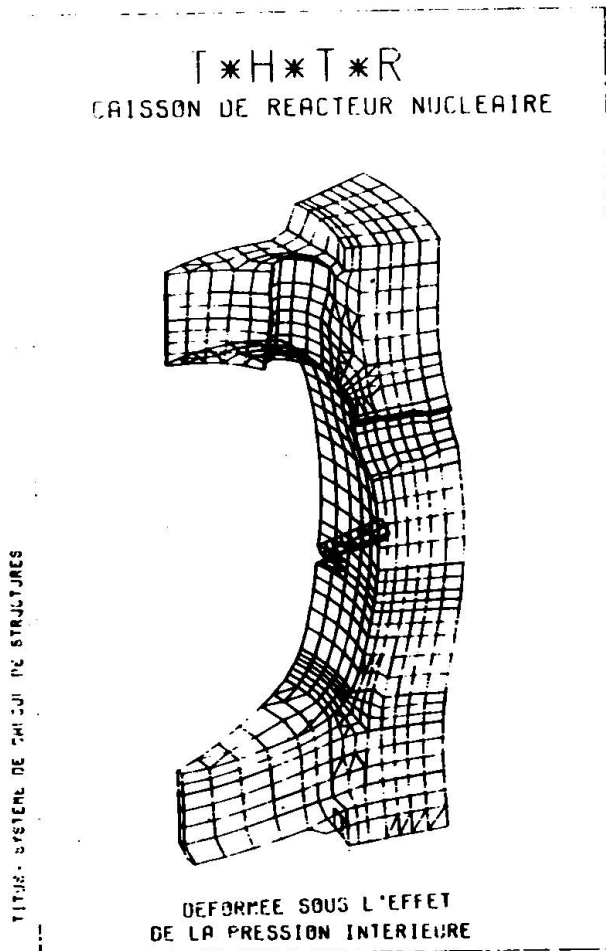
Les points les plus importants à souligner sont les suivants.

Pour l'élaboration et la vérification d'un projet, on se place en général dans le cadre de l'élasticité linéaire. Il peut être avantageux d'effectuer d'abord un dégrossissage par des méthodes simples pouvant paraître grossièrement approchées et négligeant plus ou moins complètement l'aspect tridimensionnel. Ensuite, pour la vérification, il est préférable lorsque cela est possible de simplifier et scinder le problème en étapes successives. On y gagne en temps (donc en argent) et en précision. Par exemple pour un caisson de réacteur, on effectue d'abord une vérification d'ensemble en assimilant la structure à un solide de révolution, et en utilisant un programme axisymétrique bidimensionnel. Ensuite, chaque zone singulière échappant à la symétrie de révolution est étudiée à l'aide d'un programme tridimensionnel. Il faut bien entendu définir correctement les frontières de ces zones et les conditions aux limites imposées pour les contraintes et les déplacements.

Plus que sur les méthodes de calcul, maintenant bien connues, les efforts ont porté ces dernières années sur la détermination automatique du maillage en éléments, avec la possibilité de resserrer le maillage dans les zones délicates, où l'on peut craindre des concentrations et des variations rapides des contraintes, et sur l'amélioration des procédures d'entrée et de sortie, de façon à permettre à l'ingénieur projeteur d'intervenir facilement, de n'appeler dans un gros programme que les parties nécessaires à chaque phase d'élaboration du projet, et de modifier certaines données géométriques ou mécaniques lorsque cela apparaît nécessaire. En particulier, plusieurs programmes comportent la possibilité d'obtenir des dessins automatiques du maillage, des contraintes principales, et des déformations de la structure pour différents cas de charge.

Les caractéristiques mécaniques du matériau peuvent varier en fonction du point considéré de la structure (ferraillage important, revêtement en tôle d'acier par exemple) ou de la température. Aussi la plupart des programmes actuels permettent-ils d'entrer ces caractéristiques comme une fonction des coordonnées de l'élément considéré et de la température.

Lorsque le projet d'une structure est terminé, et qu'il s'agit d'interpréter, soit des essais sur maquette, soit le comportement au cours du temps de l'ouvrage réel, un programme purement élastique est insuffisant. Aussi des programmes plus élaborés ont été développés, en particulier par Electricité de France. L'hypothèse de base est celle de la visco-élasticité linéaire du béton. A l'heure actuelle, les programmes opérationnels sont des programmes monodimensionnels, bidimensionnels, et axisymétriques. Leur exploitation a montré un très bon accord avec les résultats expérimentaux et a confirmé que le modèle rhéologique ainsi choisi représentait bien le comportement du béton.



**Caisson de réacteur T. H. T. R. - Déformée sous l'action de la pression (programme TITUS)**

**T. H. T. R. reactor vessel. Deformation due to pressure (TITUS code)**

**T. H. T. R. Reaktor-Druckgefäß. Formveränderung durch Druck (TITUS-Programm)**

Il n'existe pas à notre connaissance de programme de calcul du comportement d'une structure en phase de fissuration et jusqu'à rupture. Certains programmes pourraient peut-être être utilisés en modifiant les caractéristiques mécaniques des zones fissurées et en effectuant ainsi un calcul pas à pas. Il ne semble pas que ceci présente un grand intérêt, puisqu'on est au-delà du comportement normal de l'ouvrage en service.

Enfin, les calculs à la rupture sont en général effectués manuellement.

#### IV. Expérimentation sur maquettes

L'emploi de maquettes pour étudier des structures complexes et vérifier leur comportement est déjà ancien. Avant le développement des moyens de calcul modernes, c'était à vrai dire à peu près le seul moyen dont disposaient les ingénieurs.

Si, comme nous l'avons déjà dit, il n'y a pas eu en France ces dernières années d'études importantes ou originales dans le domaine des barrages, de nombreuses maquettes de caissons de réacteur en béton précontraint ont été construites et expérimentées.

Tout d'abord, pour les caissons G2 et G3 de Marcoule, la Direction des Etudes et Recherches d'Electricité de France a dirigé pour le compte du Commissariat à l'Energie Atomique les essais de trois maquettes identiques.

Le choix s'est porté sur des maquettes en béton, constituant des modèles de résistance. L'échelle des contraintes et des caractéristiques mécaniques est donc de 1. L'échelle géométrique choisie était de 1/10, minimum compatible avec la possibilité de mise en place correcte du micro-béton représentant le béton de l'ouvrage réel. Les conditions de similitude n'étaient évidemment pas respectées pour le poids propre, ce qui était peu important en raison de la grande prépondérance des efforts dus à la pression interne.

Un soin particulier a été apporté à la représentation à l'échelle, dans toute la mesure du possible, de la peau d'étanchéité, des câbles de précontrainte, et des singularités, en particulier des divers orifices.

Les essais effectués ont été uniquement des essais en pression, sans aucun essai thermique. Ils ont comporté des essais en phase élastique, dans le domaine des pressions de service, et un essai rapide de rupture au gaz par augmentation de la pression.

L'instrumentation comprenait des appareils de mesure de déplacements (comparateurs), des détecteurs d'ouverture de joints, et pour les câbles des dynamomètres et des détecteurs de rupture. La petitesse de l'échelle n'avait pas permis de prévoir des extensomètres car leurs dimensions auraient été trop grandes pour donner des indications valables compte tenu de la variation du champ de contraintes.

Les résultats obtenus ont été très satisfaisants et ont montré le bon comportement élastique de la structure et sa grande marge de sécurité par rapport à la rupture.

Tous les caissons de réacteurs suivants, E. D. F. 3, Saint-Laurent 1 et 2, et Bugey 1, ont été construits pour Electricité de France. Leurs différentes maquettes, projetées et construites par les constructeurs, en liaison avec la Direction des Etudes et Recherches d'E. D. F., ont été expérimentées par cette dernière. Les essais de chaque maquette ont ainsi profité des enseignements des précédents.

Toutes les maquettes sont des modèles de résistance, pour lesquels là encore les efforts dus au poids propre, très faibles devant ceux de la pression, ne vérifient pas les lois de la similitude.

Pour le caisson d'E. D. F. 3, trois maquettes à l'échelle de 1/6 ont été construites.

Les deux premières maquettes d'E. D. F. 3 ont été essayées uniquement en pression. La mise en pression était hydraulique. De nombreux cycles ont été effectués jusqu'à la pression de service (27 bars) et au-delà. Enfin, les essais se terminaient par un essai de rupture lent par augmentation de la pression.

Ces deux premières maquettes ne différaient que sur un point : sur la première la peau d'étanchéité intérieure en tôle d'acier était remplacée par une membrane en caoutchouc, alors que sur la seconde cette peau d'acier était représentée à l'échelle.

L'instrumentation comprenait des capteurs de déplacement, des extensomètres à corde vibrante (témoins sonores) noyés dans le béton, des jauges à fil résistant placées à la surface du béton et de la peau d'étanchéité, et des dynamomètres pour la mesure des tensions des câbles de précontrainte. Un dispositif d'enregistrement automatique des mesures était prévu.

En outre, la rupture était observée à l'aide d'un circuit de télévision, et des photos et un film en étaient pris par des appareils télécommandés.

Les essais ont montré que les maquettes se comportaient sensiblement comme le laissaient prévoir les calculs, et ont confirmé le surcroît de résistance apporté par la peau d'étanchéité, et l'excellent comportement d'ensemble de la structure.

La troisième maquette a été soumise aux mêmes essais, et aussi à des essais en température, cumulée ou non avec la pression.



A cet effet, elle a été équipée en outre de thermocouples et d'hygromètres. On a simulé en outre des accidents improbables, comme des câbles de précontrainte détendus ou des plages chaudes sur la peau dues à une détérioration du calorifuge de l'ouvrage.

La représentation des conditions thermiques de l'ouvrage réel est impossible sur une maquette de résistance, car l'échelle des temps est le carré de l'échelle linéaire, et il en résulte que les régimes thermiques s'établissent beaucoup plus vite que dans l'ouvrage réel. Or dans ce dernier, la variation très lente de la température fait que le module d'Young intervenant dans l'établissement des contraintes thermiques est certainement sensiblement inférieur au module instantané. On a donc renoncé à étudier sur la troisième maquette d'E. D. F. 3 les régimes thermiques transitoires et on a tenté de reproduire le régime permanent par une montée très lente de la température de la maquette.

Les essais de cette troisième maquette ont été poussés jusqu'à des températures très supérieures à la température de service. Ils ont confirmé l'excellent comportement de l'ouvrage.

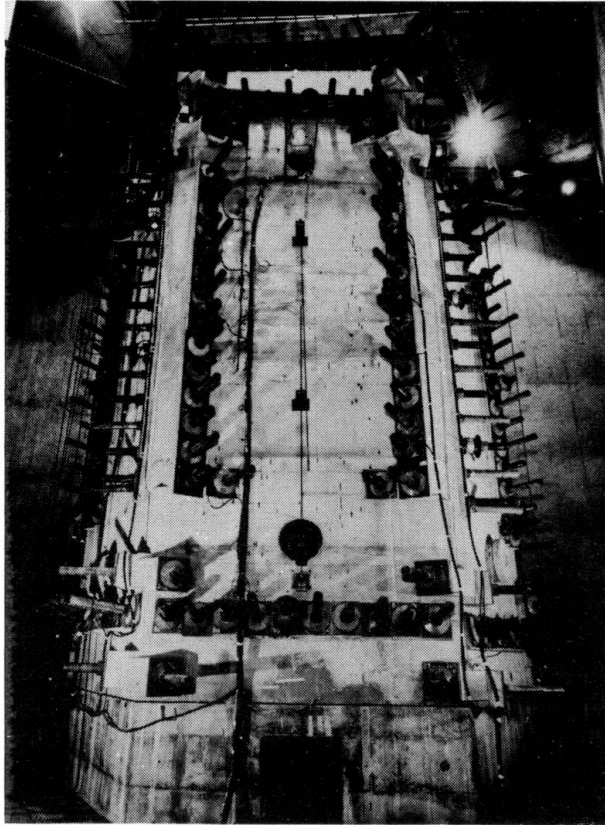
L'essai de rupture de cette troisième maquette a été fait en température (plus exactement avec un gradient thermique dans l'épaisseur du béton). Il a montré que la pression de rupture était sensiblement la même que pour la deuxième maquette et n'était donc pas influencée par l'état thermique de la structure. Ce résultat très intéressant confirme les théories de la plasticité qui montrent qu'un état d'autocontrainte initial est sans influence sur la résistance ultime d'une structure.

L'instrumentation et les techniques d'essai mises au point pour la troisième maquette d'E. D. F. 3 se sont avérées excellentes et ont été reconduites pratiquement sans changement pour les maquettes des caissons de Saint-Laurent 1 et du Bugey, construites et essayées dans le même site que les maquettes d'E. D. F. 3, à Chinon.

Pour le caisson de Saint-Laurent 1, il avait été décidé de construire une seule maquette à l'échelle de 1/5. Le programme d'essais prévoyait :

- des essais élastiques sans température destinés à vérifier le calcul des contraintes dues à la précontrainte et à la pression, jusqu'à des pressions supérieures à la pression de calcul et voisines de la pression de fissuration;

- des essais thermiques avec montée en température rapide ou lente et paliers de stabilisation;



Maquette n° 1 de Saint-Laurent 1 avant rupture (photo Baranger)

Model N° 1 of Saint-Laurent 1 before rupture (Baranger photograph)

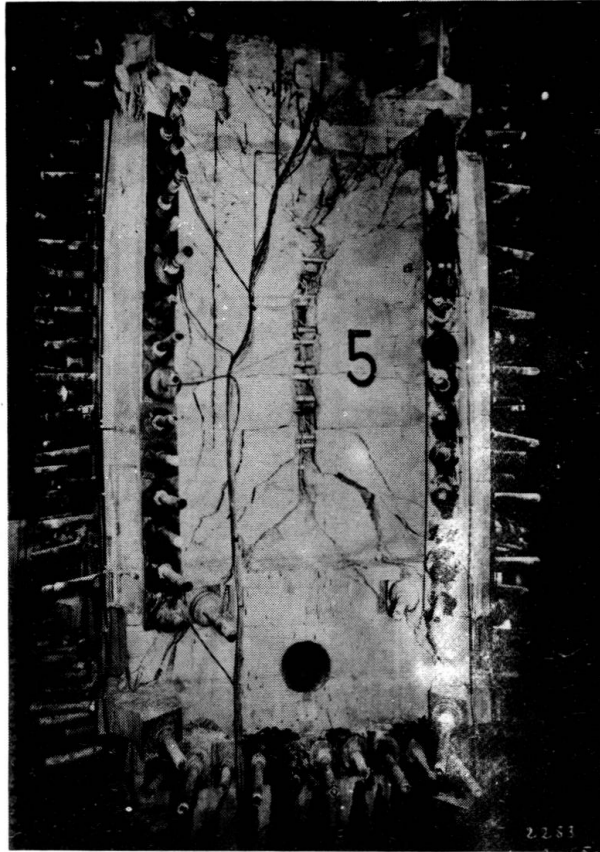
Modell Nr 1 von Saint-Laurent 1 vor Bruch (photo Baranger)

- des essais en pression de courte ou longue durée couplés avec les essais précédents;

- et finalement l'essai de rupture.

Les essais ont montré un bon comportement de l'ouvrage, et en particulier une sécurité très satisfaisante vis-à-vis de la rupture, mais ont mis en évidence une fissuration prématurée de la face externe due à un mauvais tracé de la précontrainte circonférentielle du cylindre.

10.



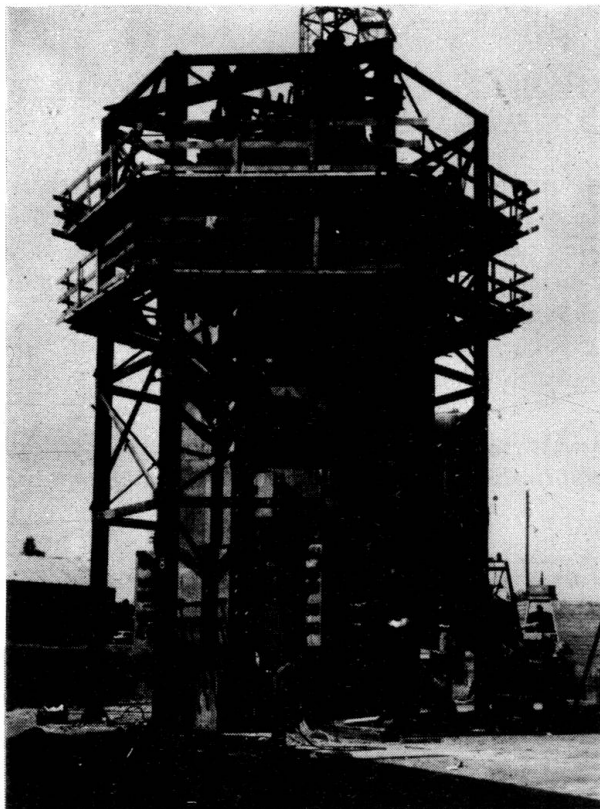
Maquette n° 1 de Saint-Laurent 1 après rupture (photo Baranger)

Model N° 1 of Saint-Laurent 1 after rupture (Baranger Photograph)

Modell Nr 1 von Saint-Laurent 1 nach Bruch (photo Baranger)

Aussi une seconde maquette au 1/5 a-t-elle été construite, avec un tracé de précontrainte modifié et amélioré, et soumise au même programme d'essais. Les résultats ont été entièrement satisfaisants.

Pour le caisson du Bugey, deux maquettes au 1/5 furent construites et essayées. La première était destinée à des essais sans température, la seconde à des essais en pression et température. A la fin du programme d'essais, chaque maquette a été soumise à un essai de rupture. Là encore, les résultats ont été excellents et ont confirmé le bon comportement de la structure projetée.



Maquette n° 1 de Bugey 1

Model N° 1 of Bugey 1

Modell N<sub>1</sub> 1 von Bugey 1

Un autre problème délicat a été étudié sur maquettes pour les caissons de Saint-Laurent et du Bugey, celui des vibrations des consoles de soufflantes. Dans ces caissons à circuit primaire intégré, les soufflantes, ancrées dans la paroi massive des caissons, sont entraînées par des turbines portées par des consoles massives en béton précontraint encastrées dans le caisson, et il est indispensable pour que le bon fonctionnement de l'arbre soit assuré que les amplitudes des vibrations de ces consoles restent très faibles pour toutes les fréquences inférieures ou égales à 50 hertz. Après un dégrossissage des formes convenables par

12.

le calcul, différentes formes de consoles ont été testées, sur une maquette spéciale au 1/10 pour Saint-Laurent 1, et sur la deuxième maquette au 1/5 pour Bugey.

V. Mesures et contrôles sur les ouvrages - Comparaison avec les essais sur maquettes - Surveillance en service

Les divers caissons de réacteurs ont été équipés de nombreux instruments de mesure destinés, d'une part à contrôler leur comportement correct lors de la mise en précontrainte et de la mise en service, d'autre part à surveiller leur évolution ultérieure et s'assurer de leur sécurité dans le temps.

Sont employés :

- des instruments destinés à mesurer les déplacements et déformations d'ensemble : repères de nivellement, pendules inversés, fils Invar;

- des instruments destinés à mesurer les déformations locales, aussi bien en zone courante qu'aux points singuliers : témoins sonores et jauges de contraintes (strain - gauges);

- des thermocouples destinés à mesurer les températures, et des hygromètres permettant de suivre les migrations d'eau dans le béton;

- des dynamomètres permettant de mesurer la tension de certains câbles de précontrainte.

On remarquera que la plupart de ces instruments sont ceux là même qui sont utilisés pour l'auscultation et la surveillance des barrages.

Le dépouillement des mesures, leur interprétation, et la comparaison avec les essais sur maquette sont délicats en raison de la complexité de l'histoire du béton de la structure réelle : coulage par plots, échelonné sur plus d'un an, mise en précontrainte en plusieurs phases, etc. . On réussit néanmoins à obtenir en général une très bonne concordance pour les phénomènes rapides (et donc élastiques) comme la mise en pression et certaines phases de mise en précontrainte, et une interprétation très acceptable des autres phénomènes. Mais tout ceci exige un travail considérable et coûteux, et l'emploi d'ordinateurs puissants tant pour le dépouillement, les corrections et l'interprétation des mesures brutes que pour la comparaison avec les résultats d'un calcul élastique ou plus souvent visco-élastique.

La surveillance d'un ouvrage après sa mise en service pose des problèmes plutôt plus simples. Il faut avant tout vérifier qu'il ne se produit pas de variations anormales dans les mesures. Pour cela, on teste, à intervalles réguliers, un certain nombre d'instruments judicieusement choisis, et, connaissant les conditions de charges correspondantes, on réussit à séparer, par voie statistique, d'une part les variations réversibles liées à la pression interne et à l'état thermique de la structure, d'autre part les variations irréversibles liées au retrait, au fluage, à la relaxation des armatures de précontrainte, et éventuellement à une dégradation des qualités de la structure. Cette dernière éventualité ne s'est encore fort heureusement pas réalisée.

Une telle surveillance nécessite l'intervention de spécialistes ayant une pratique courante de cette discipline et est assurée en France par la Division Technique Générale de la Production Hydraulique d'E. D. F., qui assure aussi la surveillance des barrages.

Une mention spéciale doit être réservée au caisson du Bugey. L'instrumentation de cet ouvrage est nettement plus importante que celle des autres caissons, et ceci dans un but de recherche. On peut ainsi espérer que l'exploitation des mesures faites sur cet ouvrage permettra d'accéder à une meilleure connaissance des structures en béton précontraint sollicitées triaxialement et soumises à l'action de la température.

## VI. Etudes et recherches en cours

De nombreuses études sur les caissons en béton précontraint ont été effectuées ces dernières années et se poursuivent actuellement, principalement dans le cadre d'un programme de recherches entrepris par le Commissariat à l'Energie Atomique, Electricité de France, et la Société d'Etudes des Caissons Nucléaires.

L'emploi de caissons en béton précontraint pour les filières à eau légère (B. W. R. et P. W. R.) a été particulièrement examiné, et plusieurs projets de caissons ont été étudiés. Des solutions satisfaisantes, tant du point de vue de la sécurité que de l'économie, ont été mises au point.

La principale difficulté dans ces projets est la valeur élevée de la pression du fluide intérieur (80 bars environ pour le B. W. R. et 150 bars environ pour le P. W. R.), qui nécessite des contraintes admissibles élevées dans le béton. Des bétons à haute résistance ont été mis au point dans ce but, et permettent de résoudre le problème.

On pourrait certainement simplifier les projets et abaisser leur coût en tenant compte de la triaxialité des contraintes et de façon plus précise en relevant les contraintes limites admissibles lorsque les trois contraintes principales sont des compressions. Mais les connaissances actuelles sur le béton, si elles montrent indiscutablement que la résistance est augmentée en compression triaxiale, ne sont pas encore suffisantes pour permettre d'évaluer numériquement de façon précise cette augmentation. En particulier, les règlements officiels sont muets sur cette question. Des études et des essais se poursuivent sur ce sujet.

Un autre problème encore mal connu est la valeur des contraintes d'origine thermique. Pour leur calcul, il faudrait connaître la valeur du module d'Young à prendre en compte en fonction de la vitesse d'établissement du gradient thermique et éventuellement du signe de la contrainte correspondante. Pour les caissons de Saint-Laurent et du Bugey, on avait admis que compte tenu de l'inertie thermique de la structure, on pouvait prendre un module égal à la moitié du module instantané pour le calcul des contraintes thermiques en régime permanent. Une telle hypothèse paraît raisonnable mais est évidemment assez arbitraire.

Or, il n'est pas facile de déterminer expérimentalement sur les maquettes la valeur réelle des contraintes thermiques parce que les appareils de mesure ne permettent pas de mesurer directement les contraintes, mais seulement les déformations. C'est seulement au moment de la fissuration, si on connaissait avec précision la valeur de la contrainte de fissuration du béton, qu'un essai permettrait de trouver la vraie valeur de la contrainte thermique.

Il serait donc extrêmement utile de disposer d'un appareil de mesure directe des contraintes. Un tel appareil "capteur de contraintes" a été imaginé par monsieur Beaujoint (E. D. F.) et est expérimenté sur le chantier du pont de Saint-Cloud. Il est malheureusement limité à la mesure des contraintes de compressions, mais pourra certainement rendre de grands services si les essais entrepris sont concluants.

## VII. Conclusion

Les réalisations de ces dernières années ont montré que l'état actuel de la technique permettait de projeter des structures tridimensionnelles sûres et dont le comportement était à peu de choses près conforme aux prévisions déduites du calcul ou des essais sur maquettes.

L'expérience déduite de ces réalisations et le perfectionnement constant des méthodes et des programmes de calcul rendent possible dès maintenant des progrès importants tant dans la prévision du comportement des structures que dans l'évaluation de leur sécurité, et donc permettent d'espérer des économies appréciables.

Par exemple, bien que l'expérimentation sur maquettes ait des avantages irremplaçables, et en particulier permette éventuellement de découvrir des erreurs de conception ou des dispositions défectueuses qui auraient pu échapper à la vérification par le calcul du fait d'une mauvaise modélisation de la structure, les progrès actuels du calcul permettent de diminuer notablement le nombre et l'importance des maquettes à prévoir.

Néanmoins, des progrès sont encore à faire, car notre connaissance du comportement du béton sous contraintes triaxiales et sous sollicitations thermiques est encore insuffisante. Il semble que les axes de recherche pour les années futures devraient être la poursuite des études sur la résistance du béton sous charges statiques, sur sa résistance à des charges variables, et sur ses déformations différées, et si possible la mise au point d'appareils de mesure directe des contraintes, sans passer par l'intermédiaire des déformations.

#### REFERENCES

- C. VOUILLON - Système de calcul des structures sur ordinateur."TITUS". (Revue Française de Mécanique n° 40, 1971)
- J. M. BOISSERIE - Generation of two-and three-dimensional finite elements (International Journal for numerical methods in engineering, vol 3, 1971)
- J. M. BOISSERIE - Modélisation du caisson du réacteur de Bugey (First International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology, Berlin, Septembre 1972)
- G. LAMIRAL, J. COURBON - Les caissons en béton précontraint dans les centrales nucléaires d'E. D. F. 3 et d'E. D. F. 4 (Annales de l'I. T. B. T. P., Février 1965)
- P. LAUNAY - Etude et construction du caisson en béton précontraint de la centrale nucléaire de Bugey 1 (Annales de l'I. T. B. T. P., Mai 1970)
- N. BEAUJOINT - Similitude et théorie des modèles (Bulletin RILEM n° 7, 1960)



**N. BEAUJOINT - Etudes sur modèles de structure de barrages et de génie nucléaire (Annales de l'I. T. B. T. P. , Novembre 1961)**

**M. LIDA, R. AUSANGEE - Modèles réduits de résistance des caissons de réacteurs nucléaires en béton précontraint (Conference on prestressed concrete pressure vessels, Londres, Mars 1967)**

**J. P. MEROT, M. LANGUILLE - Caissons en béton précontraint pour B. W. R. (Commission des Communautés Européennes, Deuxième réunion d'information sur les cuves de réacteur en béton précontraint, Novembre 1969)**

**R. LACROIX - Le programme de recherche et développement E. D. F. - C. E. A. -S. E. C. N. pour les caissons en béton précontraint (NUCLEX 1972, Technical Meeting n° 2)**

**J. P. MAGNAS, A. AUDIBERT - Critères de résistance du béton sous sollicitations multiaxiales (Annales de l'I. T. B. T. P. , Supplément du n° 287, Novembre 1971)**

### R E S U M E

Les structures les plus intéressantes construites en France ces dernières années sont les caissons de réacteurs. Ces ouvrages sont décrits sommairement. Puis les principales caractéristiques des programmes de calcul utilisés sont données. On décrit ensuite plus en détail les expérimentations sur maquettes, leurs résultats et leur interprétation. On évoque les mesures et les contrôles des ouvrages en service, ainsi que leur surveillance. Un aperçu des études et des recherches en cours est donné. Enfin, l'auteur indique les voies de recherche qui lui paraissent les plus importantes pour l'avenir.

## S U M M A R Y

The most noticeable structures carried out in France during the past few years are reactor vessels. These realizations are briefly described. Then the main characteristics of the computing codes are set forth. More precise descriptions of model tests and of their results and interpretation thereof follow. Measures and checkings of projects in operation, as well as their maintenance, are outlined. A summary of designs and researches in progress is given. Finally, the author points out the lines of research which he considers the most important for the future.

## ZUSAMMENFASSUNG

Die bedeutendsten Bauwerke, welche in den letzten Jahren in Frankreich ausgeführt wurden, sind die Reaktordruckgefäße. Diese Bauwerke sind kurz beschrieben. Es folgen die wichtigsten Eigenheiten über den angewandten Berechnungsplan. Die Modellversuche, sowie deren Ergebnisse und daraus hervorgehenden Folgerungen, werden eingehender geschildert. Ferner werden die Messungen und Prüfungen, der sich im Dienst befindenden Projekte und deren Überwachung erwähnt. Es wird eine Übersicht, der in der Ausführung begriffenen Projektierungen und Forschungen, gegeben. Schliesslich äussert sich der Verfasser über die Forschungswege, die seines Erachtens für die Zukunft am wichtigsten sind.

Leere Seite  
Blank page  
Page vide