

FR 8000 695

INIS

Cycle de Conférences CEA - EDF Sur les vibrations des structures dans le domaine industriel.
Jouy-en-Josas, France, 15 - 19 Octobre 1979.
CEA - CONF 4927

**SURVEILLANCE VIBRATOIRE DU COMPORTEMENT MÉCANIQUE DES STRUCTURES INTERNES
DES REACTEURS A EAU SOUS PRESSION.**

R. ASSEDO (FRAMATOME) J.C. CARRE (CEA) J.C. SOL (EDF)

- RESUME -

Les structures internes des réacteurs à eau sous pression sont le siège de vibrations induites par les fluctuations de l'écoulement du fluide primaire.

La connaissance de ces phénomènes est indispensable pour s'assurer de la bonne tenue mécanique des structures ; elle peut être par ailleurs utilisée dans un but de surveillance en service.

Cet exposé présente l'ensemble des méthodes mises au point et les résultats déjà obtenus dans ce domaine.

La première partie est consacrée aux essais sur maquette associés à l'élaboration de modèles de calculs qui ont apporté une bonne connaissance préalable des caractéristiques vibratoires des structures internes, ainsi que les mesures effectuées lors des essais à chaud de certains réacteurs qui ont permis de qualifier ces modèles sur les structures réelles.

Dans une deuxième partie, on décrit les moyens de détection (bruit neutronique, accélérométrie externe) ainsi que les méthodes de traitement utilisées pour le suivi.

Quelques exemples de résultats obtenus sur site sont ensuite présentés. On dégage enfin les principes généraux d'une surveillance en service du comportement mécanique des structures internes.

INTRODUCTION.

Les structures internes des réacteurs à eau sous pression sont le siège de vibrations induites par les fluctuations de l'écoulement du fluide de primaire.

La connaissance de ces phénomènes est indispensable pour s'assurer de la bonne tenue mécanique des structures. Elle peut par ailleurs être utilisée dans un but de surveillance qui permet :

- de suivre l'évolution normale du comportement vibratoire des internes,
- et, de détecter précocement des anomalies susceptibles d'entraîner des dégradations.

Nous nous proposons de présenter l'ensemble des méthodes mises au point et les résultats déjà obtenus dans ce domaine. La première partie sera consacrée aux essais sur maquette à échelle réduite, associés à l'élaboration de modèle de calcul permettant d'obtenir les caractéristiques vibratoires des structures internes. La deuxième partie traitera des moyens de mesure de ces vibratoires par accélérométrie externe et par bruit neutronique. Nous décrirons succinctement les méthodes de traitement utilisées. Après avoir donné dans une troisième partie quelques exemples de résultats obtenus sur différentes centrales, nous dégagerons les principes généraux d'une surveillance en service du comportement vibratoire des structures internes.

1. - ETUDE PREALABLE DU COMPORTEMENT VIBRATOIRE. [1], [2], [3], [4], [5], [11]

1.1. - Généralités.

1.1.1. - Description des structures internes.

La cuve d'un réacteur à eau pressurisée du type FESSENHEIM (Fig. 1) contient un ensemble de structures mécaniques appelées équipements internes de cuve qui se divisent en deux sous-ensembles :

les internes supérieurs qui assurent en particulier le guidage des grappes de contrôle, et les internes inférieurs qui ont pour fonction de supporter le coeur du réacteur, de canaliser le fluide primaire, et de protéger la cuve contre l'irradiation.

Dans cette étude, nous nous intéresseront aux internes inférieurs qui sont constitués essentiellement de deux viroles cylindriques :

- l'enveloppe de coeur, comportant en sa partie supérieure une bride, par l'intermédiaire de laquelle elle repose sur la cuve ; en sa partie inférieure une plaque très épaisse, le fond support, qui possède quatre guides radiaux destinés à centrer la structure par rapport à la cuve.

- l'écran thermique, concentrique à l'enveloppe de coeur et relié à celle-ci par six attaches supérieures rigides, les blocs supports, et par six attaches inférieures souples, les supports flexibles, permettant de reprendre les dilatations différentielles entre écran et enveloppe.

De plus, au niveau de la bride supérieure de l'enveloppe de coeur, afin de réaliser une bonne liaison avec la cuve et les internes supérieurs est interposée une rondelle belleville : le niveau de calage. Il assure en particulier le maintien du panier de coeur (reprise des efforts hydrauliques).

1.1.2. - Définition du problème.

Les structures de réacteurs à eau sont soumises à des vibrations induites par la forte turbulence de l'écoulement primaire (vitesses moyennes de l'ordre de 10m/s).

Les structures internes excitées par les fluctuations de pression se produisant dans l'espace annulaire cuve-écran-enveloppe répondent suivant leurs modes propres.

Pour une conception d'interne donnée, il y a lieu de vérifier que les amplitudes de vibration sont acceptables, c'est-à-dire qu'elles ne conduisent pas à une fatigue excessive des composants.

1.1.3. - Approche utilisée.

L'approche utilisée pour étudier le problème vibratoire est à la fois expérimentale et analytique.

Au plan expérimental, il s'agit de caractériser d'une part, les sources d'excitation turbulentes, et de déterminer d'autre part, les propriétés vibratoires des structures (fréquences et modes propres, taux d'amortissement...), par des essais sur modèle réduit et sur composants à l'échelle 1

Au plan des calculs, il s'agit de bâtir un modèle représentatif

des structures internes, de déterminer les fréquences et modes propres (analyse modale), et d'estimer la réponse des structures à l'écoulement (calcul en aléatoire) en utilisant les sources de fluctuations de pression caractérisées expérimentalement.

1.2. - Approche expérimentale : Etude sur modèle réduit.

La boucle SAFRAN représente à l'échelle 1/8 l'écoulement dans un réacteur trois boucles du type FESSENHEIM. Elle comporte une maquette de cuve contenant les structures (Fig. 2) internes inférieures en similitude hydroélastique. Elle est équipée de capteurs de fluctuation de pression, de capteurs de déplacement relatif et d'accéléromètres.

L'étude entreprise a comporté trois phases principales :

1.2.1. - Essais en air.

Des excitations harmoniques en air des structures internes avec diverses conditions aux limites, libre-libre (structures suspendues, hors cuve) ou encastré-libre (structures en cuve) ont permis de déterminer les fréquences et modes propres principaux.

Des essais identiques ont été effectués également sur des structures à l'échelle 1, en usine, la comparaison fréquentielle et modale entre les résultats des essais sur maquette et sur prototype est très bonne. Ceci a validé le modèle utilisé du point de vue de la similitude choisie.

1.2.2. - Essais en eau calme.

Des essais harmoniques en eau calme, ont servi à caractériser les propriétés vibratoires des structures internes : fréquences et modes propres, taux d'amortissement. La comparaison entre les résultats en air et en eau calme, a montré l'effet important du fluide sur la valeur des fréquences (masse ajoutée) et des taux d'amortissement.

1.2.3. - Essais en écoulement.

Les mesures effectuées à débit nominal, trois pompes en fonctionnement, ont consisté d'une part en la caractérisation des sources d'excitation par des mesures de fluctuation de pression (densité spectrale de puissance et domaine de corrélation) ; et

d'autre part, en la mesure directe de la réponse des structures à ces excitations en utilisant les capteurs de déplacement et les accéléromètres (Fig. 3).

1.3. - Modèle de calcul.

1.3.1. - Programme de calcul.

Un modèle numérique de l'ensemble des structures internes a été mis au point à l'aide du système de codes aux éléments finis spécialisés développés par le C.E.A. Plus précisément les programmes AQUAMODE et TRISTANA ont été conçus pour modéliser des structures formées de coques de révolution reliées entre elles par des liaisons ponctuelles, et couplées par un fluide.

Ces codes ont au préalable été validés par les résultats obtenus pour la maquette SAFRAN. Ils ont été utilisés avec succès pour d'autres structures (cuve du réacteur PHENIX...)

1.3.2. - Modélisation des structures.

L'ensemble du calcul a été effectué dans le cadre de l'élasticité linéaire, sans prise en compte de l'amortissement. Chacune des deux sous-structures (écran et enveloppe) a été supposée satisfaisante aux hypothèses générales relatives aux coques minces, l'enveloppe étant fixée rigidement (encastrée) à la cuve, supposée fixe, à son extrémité supérieure. Un découpage en éléments finis a été réalisé ; le programme AQUAMODE a calculé les modes propres de l'ensemble ainsi constitué en tenant compte du couplage et de la masse ajoutée due à la présence de l'eau. Ensuite, sur la base modale définie par AQUAMODE, le programme TRISTANA a pris en compte les liaisons ponctuelles entre coques introduites comme des relations imposées entre les déplacements aux points considérés.

1.3.3. - Résultats de l'analyse modale.

Les principales fréquences propres du système couplé écran thermique-enveloppe de coeur, sont données dans le tableau 1 et l'allure des déformées correspondantes sur la Figure 4.

On constate que les premières déformées en azimut sont un cercle (mode de type $n = 1$ dit en poutre) ou une ellipse ou un

"trèfle" (mode de type $n = 2$ ou $n = 3$ cits en coque). Les déformées concernent préférentiellement l'une ou l'autre des coques ou les deux couplées.

TABLEAU I

Fréquence (Hz)	Modes Essentiels	Déformée
7,1 7,1	} $n = 1$	Premier mode en poutre : balancement de l'ensemble des internes.
11,2 11,5	} $n = 2$	Premier mode en coque à prédominance écran thermique.
14,6 14,8	$n = 1$ $n = 1 (+ n = 3)$	Mode en poutre avec déformation en coque de l'enveloppe et de l'écran.
13,8 15,6	$n = 3 (+ n = 1)$ $n = 3$	Mode en coque à prédominance écran thermique.

1.3.4. - Calcul de la réponse.

Un calcul aléatoire de la réponse des structures a été effectué par AQUAMODE, en utilisant les modes propres précédemment calculés, et les sources d'excitation déterminées expérimentalement sur SAFRAN.

L'écart type global de déplacement radial calculé pour les principaux modes propres est de l'ordre de 80 μm efficace. Cette valeur est tout à fait comparable à celle mesurée sur la maquette SAFRAN, et extrapolée au réacteur compte tenu des conditions de similitude.

1.4. - Mesures sur réacteurs.

Des essais harmoniques et en écoulement sur réacteur durant la

phase des essais à chaud avant chargement ont été effectués. Les internes du réacteur étaient instrumentés en accéléromètres et jauges de déformation ; la cuve du réacteur était équipée d'accéléromètres externes (couvercle et fond de cuve).

Lors des essais harmoniques les internes inférieurs étaient en place dans la cuve, le circuit primaire sous pression et les pompes à l'arrêt.

Des forces sinusoïdales, régulées en amplitude et en phase, ont été appliquées par l'intermédiaire de deux vérins hydrauliques à masse sismique fixés sur deux goujons diamétralement opposés du couvercle de la cuve.

De lents balayages en fréquence (de 5 à 80 Hz) ont alors été effectués, les deux excitateurs étant successivement en phase (pompage) et en opposition de phase (balancement).

Ces essais ont permis de retrouver un bon nombre de fréquences propres qui avaient été déterminées auparavant.

Ensuite, les mesures sur les internes du réacteur, pompes en fonctionnement, coeur non chargé, ont abouti à la connaissance précise des fréquences et modes propres et des amplitudes de déplacement associées.

La comparaison avec les résultats obtenus dans le cadre du programme SAFRAN est excellente.

En conclusion, ces résultats confirment ceux obtenus par méthodes expérimentales et analytiques.

De plus ces mesures "internes" sont très utiles et constituent des références importantes pour la surveillance en service. En effet celle-ci n'utilise que des capteurs externes : accéléromètres et chambres d'ionisation.

1.5. - Comportement particuliers.

Le comportement vibratoire des structures internes est sensible aux changements de conditions aux limites ; les fréquences propres peuvent dans ce cas évoluer de manière importante ; il est fondamental pour la surveillance en service de comprendre ces évolutions et de dire si elles sont normales ou anormales.

1.5.1. - Contacts au niveau des guides radiaux.

Dans les calculs on avait supposé que l'enveloppe était encastrée à sa partie supérieure et libre en bas. Or, le centrage des internes est assuré par quatre clefs radiales solidaires de l'enveloppe, qui sont positionnées dans des guides fixés à la cuve. Ceci avec un jeu très faible de l'ordre de 1/10 mm à froid.

Nous avons donc été amenés à envisager un contact sur un (ou plusieurs) de ces guides, et à effectuer le calcul dans cette hypothèse.

Le résultat essentiel est la variation de la fréquence du premier mode en poutre $n = 1$, elle passe de 7 Hz sans contact à 11 Hz avec contact.

Ce phénomène a été observé expérimentalement sur réacteur lors de campagnes de mesures externes de surveillance ; le calcul s'est donc avéré très utile pour expliquer ce type d'évolution qui est sans conséquence.

1.5.2. - Comportements anormaux.

Il est essentiel de pouvoir interpréter une variation anormale des caractéristiques vibratoires, et d'en déterminer la cause mécanique précise en vue du diagnostic.

Un incident qui peut avoir des conséquences sérieuses sur le comportement vibratoire des internes, est la perte de fonction de l'anneau de calage ; si celui-ci n'assure plus le maintien de la structure, celle-ci se met à vibrer en mode pendulaire à basse fréquence avec une amplitude élevée.

Pour détecter en temps utile un tel incident, un programme d'essai sur modèle réduit et de calcul ont été entrepris. Ils ont pour but de simuler la dégradation de l'anneau de calage et de caractériser avec précision sa manifestation vibratoire.

Un autre incident envisageable est la rupture d'un support flexible. Un calcul préliminaire a montré qu'il pourrait se traduire également par une variation détectable de la fréquence propre du premier mode en coque (Tableau II). Des essais et des calculs complémentaires serviront à confirmer et affiner ces critères.

TABLEAU II

Mode	Configuration normale.	Un flexible en moins
Balancement "en poutre" de l'ensemble des internes (n = 1)	7,1	7,1
Premier mode "en coque" surtout écran thermique (n = 2)	11,2-11,5	9,6 à 10,2

2. - MOYENS ET METHODES DE SURVEILLANCE.

En fonctionnement normal, il est délicat, de laisser des capteurs sur les structures internes. Pour suivre les mouvements de celles-ci, nous pouvons utiliser, les signaux électriques délivrés par les chambres d'ionisation placées hors coeur et les accéléromètres disposés sur l'extérieur de la cuve.

2.1. - Fluctuations neutroniques. [7], [8], [9]

2.1.1. - Les différentes sources de fluctuations neutroniques.

Les origines des fluctuations des signaux recueillis à la sortie des détecteurs de flux neutroniques sont très diverses. Nous nous proposons d'examiner très succinctement les sources de bruit d'une centrale à eau sous pression dans le cas d'un fonctionnement stable, sans aucune anomalie et sans défaut.

a) Mécanique.

Les éléments constitutifs du coeur sont le siège de mouvements vibratoires provoqués par l'écoulement de l'eau primaire. C'est le cas : des assemblages combustibles (flexion et mouvement vertical en cas de fatigue des ressorts de tête) des barres de contrôle commande, des grappes de crayons absorbants ou de poison

consommable, et des crayons pris individuellement. Nous rappelons pour mémoire les mouvements des internes (cf.I).

b) Thermohydraulique.

Les fluctuations de température à l'entrée des boucles de refroidissement du coeur, celle du débit primaire, les transferts aléatoires de filet d'eau ainsi que l'inhomogénéité du bore agissent aussi sur le bruit neutronique.

c) Neutronique.

Bruit naturel de réactivité du réacteur difficilement détectable sur une centrale.

d) Divers.

Nous citerons : le bruit de détection, d'appareillage, les mouvements propres des capteurs (par exemple vibration des plateaux d'une chambre d'ionisation) et les parasites induits par les appareillages électriques voisins.

2.1.2. - Effets des sources sur les fluctuations neutroniques.

Ces sources de bruit peuvent se manifester sur les fluctuations du flux neutronique et de ce fait sur le signal à la sortie du détecteur :

- soit en modifiant le bilan neutronique : effet global qui peut d'exprimer en fluctuations de réactivité équivalente.
- soit en provoquant une perturbation locale de flux.
- soit en modifiant la transmission des neutrons frappant la chambre.

Le tableau III indique la façon dont les sources de bruit agissent sur les signaux des détecteurs neutroniques (hors coeur) :

a) effet global ou en réactivité se traduisant par des fluctuations visibles sur le flux neutronique en n'importe quel point de mesure.

b) effet local qui n'est détectable que par une chambre d'ionisation placée près d'une source de bruit.

c) Transmission : le mouvement des structures internes produit une modification de l'atténuation des neutrons atteignant un détecteur placé hors coeur. C'est ce phénomène que nous utilisons pour la surveillance du comportement vibratoire.

11

Nous pouvons écrire dans le cas général :

$$P_{ke}(f) = \sum_{ij} h_{ik} h_{jl} P_{ij}(f)$$

avec $P_{ij}(f)$ Densité spectrale d'interaction des déplacements des composants de structure i et j .

h_{ik} coefficient reliant les variations $\frac{\Delta\tau}{\tau}$ de taux relatif de comptage du détecteur associé k au Δx_i déplacement de la structure i .

$\left(\frac{\Delta\tau}{\tau} \right)_{ik} = h_{ik} \Delta x_i$, qui peut se calculer avec un programme de transport ANISN 1D.

Pour une centrale classique de 900 MWe, nous avons avec Oppm de bore des valeurs de h voisines de : $h_1 = 0,02 \text{ cm}$ pour l'enveloppe, $h_2 = 0,045 \text{ cm}^{-1}$ pour l'écran thermique et $h_3 = 0,06 \text{ cm}^{-1}$ pour le combustible seul.

Dans le cas du mouvement pendulaire d'ensemble, qui est un des mouvements les plus visibles sur les DSP² neutroniques, pour lequel nous avons le même Δx pour les 3 composants nous obtenons : $h_4 = h_1 + h_2 + h_3 = 0,12 \text{ cm}^{-1}$.

2.1.3. - Evolutions des fluctuations neutroniques.

Les fluctuations neutroniques peuvent évoluer. Ces variations peuvent être dues :

a) à des changements normaux ou contrôlés des paramètres de fonctionnement de la centrale : puissance, position des crayons absorbants, usure du combustible, teneur en bore, variation de température, vitesse de réfrigération.

b) à des modifications des sources de bruit pouvant traduire soit l'apparition d'une anomalie sans conséquence immédiate pour la sûreté, soit celle d'un défaut. Parmi les nombreux cas possibles, nous citerons uniquement comme anomalie : un contact au niveau des guides radiaux et comme défauts : toute rupture ou amorce de rupture et une ébullition locale.

Ces changements de caractéristiques des fluctuations neutro-

" Densité Spectrale de Puissance

niques peuvent servir de support au diagnostic d'anomalie et de défaut, tout en s'aidant des résultats obtenus antérieurement et des modèles qualifiés.

Il faut aussi signaler qu'un défaut d'isolement, ou de fonctionnement du détecteur ou d'appareillage entraîne des perturbations. C'est un moyen de contrôler indirectement les chaînes de mesure.

2.2. - Accélérométrie "externe". [6], [10]

Son but est de permettre la détection des mouvements des structures internes à partir des informations recueillies sur des capteurs placés à l'extérieur de la cuve (Fig. 5). L'expérience montre que les DSP ainsi obtenues présentent des résonances dues au balancement de la cuve, et à certains modes propres des structures internes.

Pour la surveillance en service, l'accéléromètre "externe" est un moyen complémentaire aux analyses des fluctuations neutroniques qui est précieux pour le suivi et le diagnostic. Nous disposons ainsi de deux méthodes, permettant en cas d'anomalie de confirmer par recoupement l'origine de celle-ci.

2.3. - Traitement des signaux.

Les signaux subissent un traitement en différé permettant d'obtenir une représentation fréquentielle. Les DSP sont obtenues par la méthode du périodogramme utilisant un algorithme de TFR*. De même on peut estimer les densités spectrales d'interaction et les fonctions de cohérence pour le cas de 2 capteurs.

Pour une première interprétation, nous nous contentons de relever la valeur de la fréquence correspondant à la résonance. Pour une analyse plus fine nous essayons par méthode de moindre carré, et de façon récurrente de faire passer par les points expérimentaux, les meilleures courbes possibles d'une fonction de transfert du 2ème ordre, après avoir soustrait un fond correspondant aux fluctuations d'origine non vibratoire. Nous pouvons ainsi obtenir des tableaux indiquant f_0 , ξ coefficient d'amortissement et A amplitude de la résonance. Il est aussi très intéressant de disposer de σ^2 "surface" de la résonance = $\int_{f_1}^{f_2} P(f) df$ où $P(f)$ est la DSP sans bruit de fond, f_1 et f_2 sont dans une première

* Transformée de Fourier
Rapide

approche déterminées manuellement, et dans une deuxième plus fine par les résultats de la simili reconnaissance de forme. Ce dernier relevé combiné avec les coefficients h_1 permet d'estimer l'écart type en μm pour le mode étudié qui a été reconnu en s'aidant des déphasages et cohérence observés entre plusieurs capteurs.

3. - EXEMPLES DE RESULTATS OBTENUS SUR CENTRALES. [6], [9], [10], [12]

Les DSP de signaux de bruit neutronique et d'accélérométrie font apparaître les principales fréquences des structures, l'analyse interspectrale de ces signaux (cohérence et phase) permet d'identifier les modes.

L'expérience acquise sur réacteur, montre que les accéléromètres externes et le bruit neutronique "voient" parfaitement le mode 1 ou en poutre des internes - vers 7 Hz ou 11 Hz selon qu'il est libre ou appuyé, certains modes en coque ainsi que le mode de balancement de la cuve entre 14 et 16 Hz.

A titre d'exemple, les spectres des Fig. 5 et 6 montrent que les internes de FESSENHEIM I ont un mode $n = 1$ appuyé vers 11 Hz tandis que ceux de FESSENHEIM II ont un mode $n = 1$ libre vers 7 Hz.

CONCLUSION.

Dans l'état actuel des connaissances, il paraît souhaitable d'effectuer la surveillance à deux niveaux :

- 1er niveau : Traitement des informations en temps réel et analyse simple sur le site.
- 2ème niveau : Traitement élaboré en laboratoire et interprétation affinée des résultats.

A/ SURVEILLANCE 1er NIVEAU.

A ce niveau les signaux fournis par les différents capteurs ; chambres d'ionisation, accéléromètres externes, sont analysés en temps réel ou légèrement différé. Les valeurs des paramètres les plus significatifs de l'évolution du comportement vibratoire des structures : niveau global, fréquences et amplitudes des résonances, sont comparés à des valeurs de référence déterminées au préalable. Le cas échéant, un diagnostic d'anomalie est établi à l'aide de critères qui sont ou seront définis.

Pour être efficace, la surveillance à ce niveau nécessite

l'utilisation d'un système simple comprenant en plus des capteurs et de leurs électroniques associées un appareillage pourvu de périphériques adéquats.

B/ SURVEILLANCE 2ème NIVEAU.

Les traitements effectués sur le site, sont rapides et automatiques mais nécessairement limités et ne concernent qu'une seule centrale. Il est nécessaire d'effectuer des traitements plus élaborés et de centraliser l'information provenant des différents sites.

Ces traitements plus affinés ne sont pas faits en continu, mais sur des signaux mesurés et enregistrés à différentes périodes au cours du cycle de fonctionnement du réacteur.

Les objectifs recherchés sont la détection des évolutions à long terme et en particulier celles pouvant conduire à des défaillances et aussi la mise au point et la définition des critères de diagnostic au premier niveau . Pour ces dernières tâches, il est indispensable de s'appuyer aussi sur les modèles qualifiés permettant de simuler soit une évolution, soit une modification, soit même une avarie.

Il est important de souligner que cette bibliothèque de référence doit présenter les informations sous forme simple et facilement accessible par l'intermédiaire d'un logiciel de gestion et de visualisation associé.

- REFERENCES -

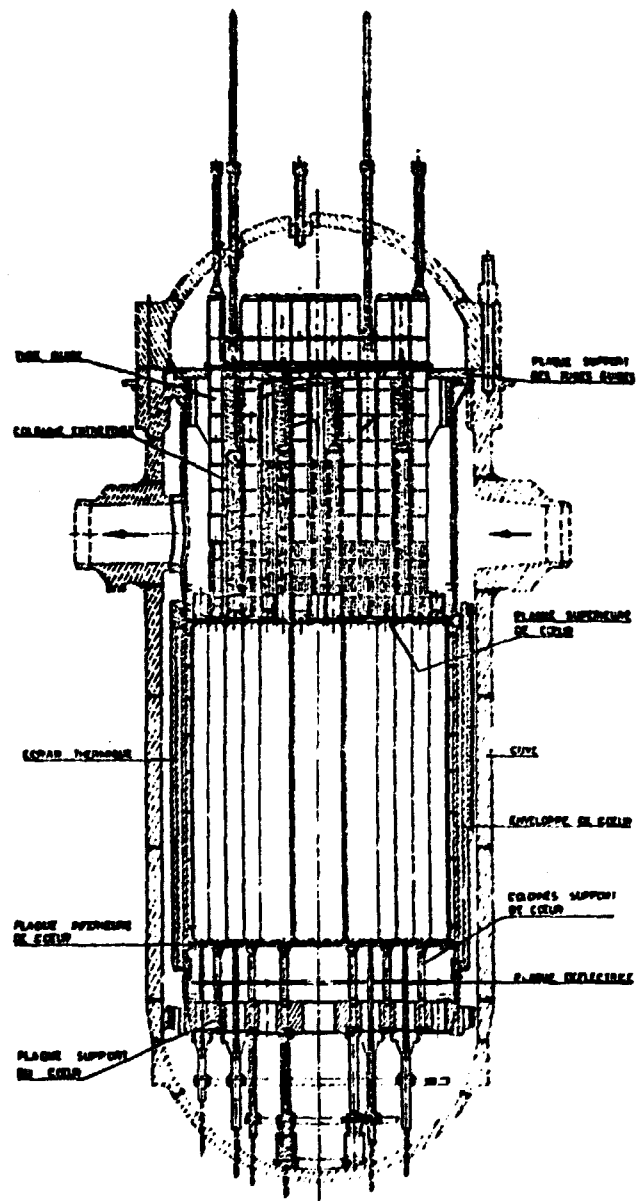
- [1] F. JEANPIERRE - M. LIVOLANT.
Experimental and theoretical methods for assessment of flow induced vibrations of nuclear reactor internal structures.
3 rd SMIRT Paper F ¹/5 LONDON (1975).
- [2] R. ASSEDO - M. DUBOURG - M. LIVOLANT.
Model experimentation and analysis of flow induced vibrations of PWR internals.
Nuclear Engineering and Design Vol. 27 n° 3 - July 1974.
- [3] R. ASSEDO - M. DUBOURG - A. EPSTEIN
Vibrations behaviour of PWR reactor internals model experiments and analysis
3 rd SMIRT paper ¹/6 LONDON 1975.
- [4] J.C. CARRE - R.J. GIBERT - F. JEANPIERRE - R. ASSEDO.
PWR internals vibrations mode shapes calculation and tests
Progress in Nuclear Energy - Vol. 1 p. 353 to 363 - 1977.
- [5] R. ASSEDO - A. EPSTEIN - R.J. GIBERT - F. JEANPIERRE - M. LIVOLANT
Hydroelastic model of PWR reactor internals SAFRAN I
Validation of a vibration calculation method.
BNES - Vibration in nuclear plant. KESWICK May 1978.
- [6] A. JAUDET - J.C. SOL
Study of the vibrational behaviour of the vessel and internals of FESSENHEIM I PWR - Application to vibrational monitoring.
BNES Vibration in nuclear plant - KESWICK May 1978.
- [7] P. BERNARD
Fluctuations neutroniques dans les réacteurs de puissance à eau sous pression.
Thèse PARIS 1977.

- [8] J.C. CARRE - J. DA COSTA OLIVEIRA.
Measurements of kinetics parameters by noise techniques on the MINERVE reactor.
Journal of Nuclear Energy - Vol. 2 p. 197 to 206 - 1975.
- [9] P. BERNARD - A. BRILLON - J.C. CARRE - S. SIGHECELLI.
Neutron noise measurements on pressurized water reactors.
Progress in Nuclear Energy - Vol. 1 p. 333 to 351 - 1977.
- [10] A. BRILLON - C. PUYAL - J.C. CARRE - Y. TIGEOT.
Surveillance du comportement vibratoire du circuit primaire
IAEA - SM 226-70 - NICE 1978.
- [11] R. ASSEDO - A. EPSTEIN - R.J. GIBERT - M. LIVOLANT
"Synthesis of vibration studies on a three loop PWR internals models"
4th SMIRT Paper F 5/3 SAN FRANCISCO (1977)
- [12] R. ASSEDO - G. HUGOT - A. EPSTEIN - R.J. GIBERT
Nuclear Reactor Surveillance - Neutrons Noise Measurements and
Vibration Analysis on French PWR Internal Structures
5th SMIRT Paper F 2/2 BERLIN (1979)

TABLEAU III

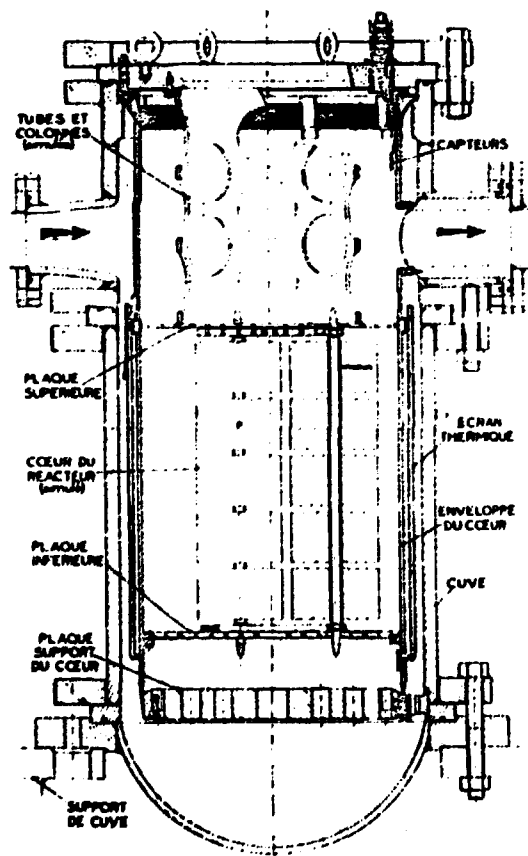
PRINCIPALES SOURCES DE FLUCTUATIONS NEUTRONIQUES.

	MECANIQUE	THERMOHYDRAULIQUE	NEUTRONIQUE	AUTRES
<p>A/ BILAN NEUTRONIQUE (Effet en réactivité global)</p>	<p>Assemblage combustible Crayon combustible Grappe absorbante</p>	<p>Fluctuations de : - température d'entrée - débit d'entrée Transfert aléatoire de filet d'eau Inhomogénéité du bore.</p>	<p>Bruit propre (p.m.)</p>	
<p>B/ EFFET LOCAL (sur flux Neutronique) (surtout pour détecteur en coeur)</p>	<p>Assemblage combustible Crayon combustible Grappe absorbante</p>			
<p>C/ TRANSMISSION (détecteur hors coeur)</p>	<p>Enveloppe de coeur Ecran thermique Cuve Ensemble (Comb.+Coeur)</p>			
<p>D/ INFLUENCE DIRECTE</p>	<p>Vibration Détecteur</p>		<p>Détection</p>	<p>Parasites Bruit d'appareillage</p>

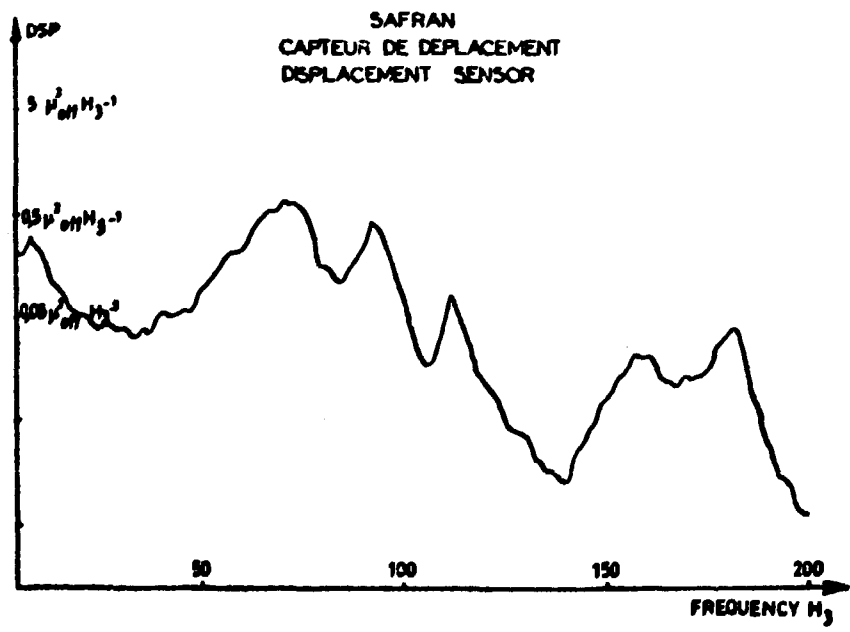
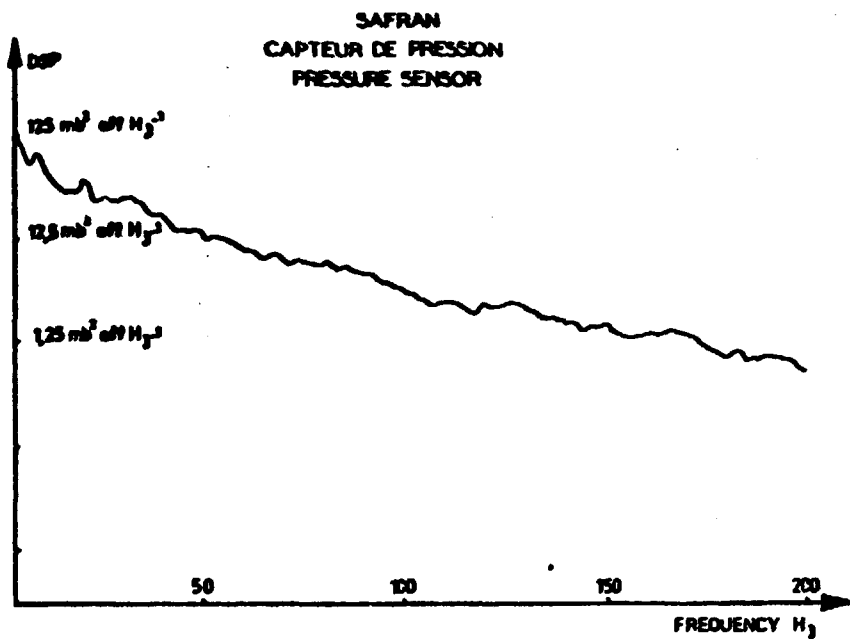


EQUIPEMENTS INTERNES
 - Coupe longitudinale -

- Fig. 1 -

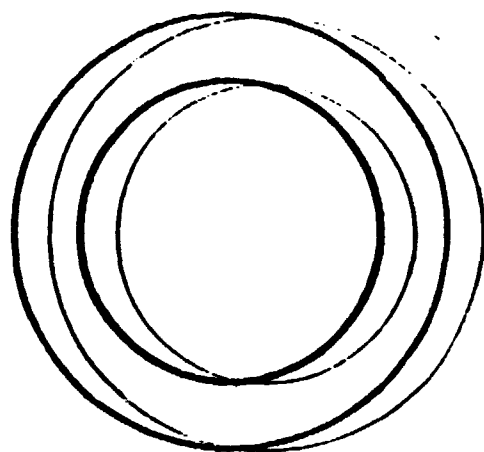


SAFRAN 1
Coupe longitudinale



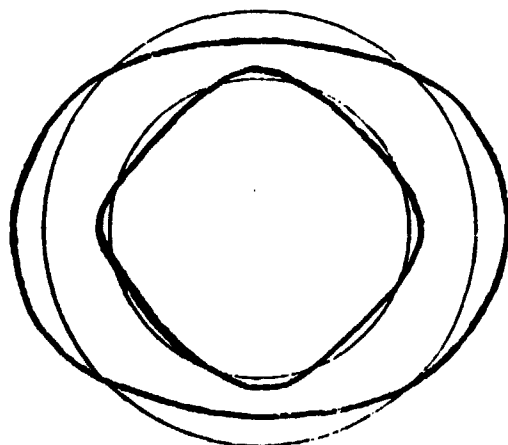
- Fig. 3 -

FORMES MODALES



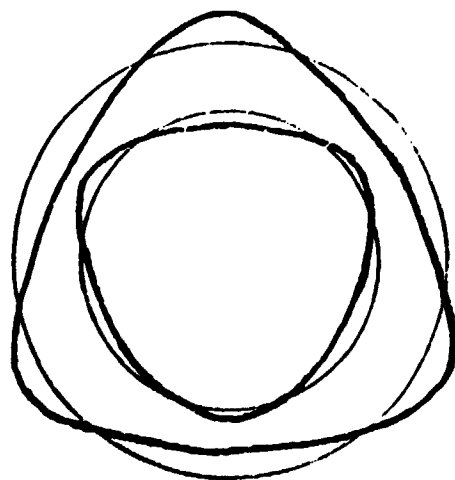
Mode 1

$n = 1$



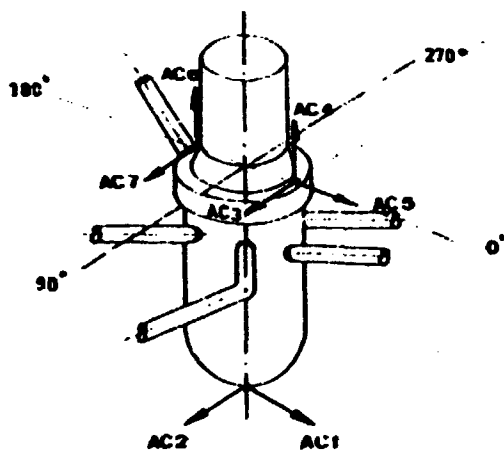
Mode 2

$n = 2$

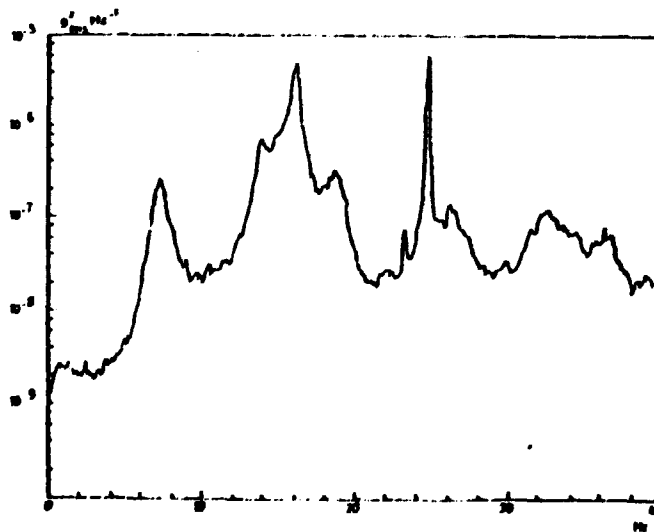


Mode 3

$n = 3$

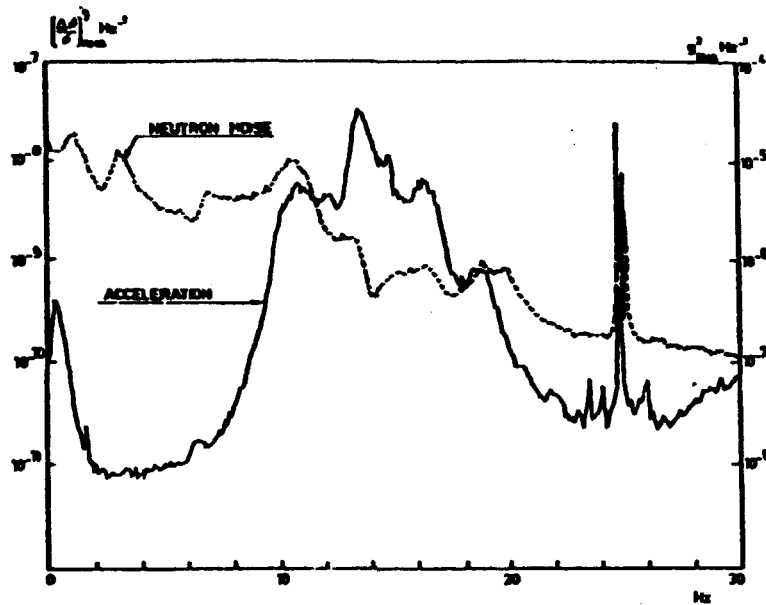


Implantation des accéléromètres de cuve

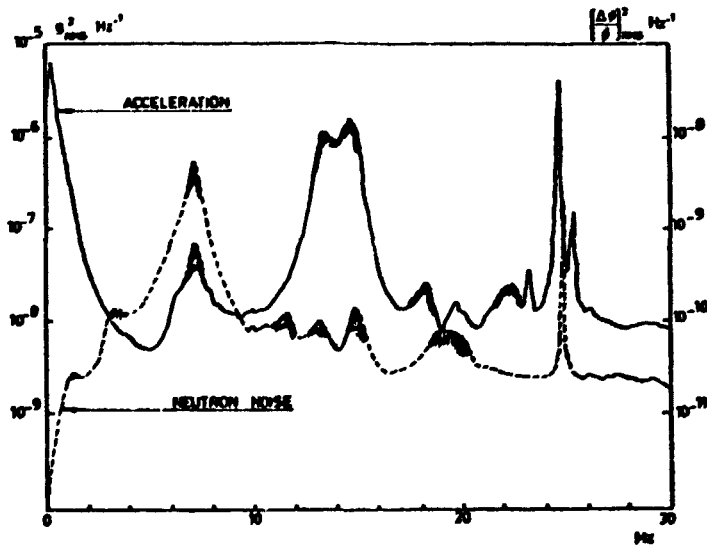


BUGEY 5 : Accéléromètre de cuve - DSP

FESSENHEIM 1



FESSENHEIM 2



Accélérométrie et Bruit Neutronique - DSP