

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE

CENTRE D'ETUDES NUCLEAIRES DE SACLAY

Service de Documentation

F91191 GIF SUR YVETTE CEDEX

FR 8801847
CEA-CONF --9263

LI

VALIDATION EXPERIMENTALE DES METHODES DE CALCUL DE STRUCTURES
PRESENTANT DES NON-LINEARITES DE TYPE CHOC

BROCHARD D. - BULAND P. -

CEA Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay, 91 - Gif-sur-Yvette (FR).
Dept. des Etudes Mécaniques et Thermiques

Communication présentée à : Symposium on non linear behaviour of reinforced
concrete submitted to a seismic excitation

Saint-Remy-les-Chevreuse (FR)
25 Nov 1987

1

VALIDATION EXPERIMENTALE DES METHODES

DE CALCUL DE STRUCTURES

PRESENTANT DES NON-LINEARITES DE TYPE CHOC

D. BROCHARD* P. BULAND*

ABSTRACT

For the seismic analysis of non-linear structures, numerical methods have been developed which need to be validated on experimental results. The aim of this paper is to present the design method of a test program which results will be used for this purpose. Some applications to nuclear components will illustrate this presentation.

1 - INTRODUCTION

L'excitation sismique peut induire sur les structures des mouvements de grande amplitude. Il en résulte parfois un comportement non-linéaire des structures. Ces non-linéarités qui peuvent être locales (choc) ou globales (plasticité) ont une grande importance dans la réponse des structures.

Des méthodes ont été développées pour étudier ces non-linéarités locales (méthode des appuis unilatéraux, recombinaison modale avec choc) et doivent être validées sur des résultats expérimentaux.

L'objet de ce papier est de présenter la manière dont doit être conçu un programme expérimental lorsqu'on réalise des essais pour valider une méthode de calcul. On doit en effet développer dans ce cas une modélisation du système mécanique testé. Ce modèle doit être validé progressivement en linéaire statique et dynamique, puis sur les résultats des essais où les non-linéarités interviennent.

* Ingénieurs au CEA-CEN Saclay DEDR-DEMT

2 - DEFINITION DE LA MAQUETTE . REGLES DE SIMILITUDE

Pour des raisons de coût, de dimension, de poids il n'est en général pas possible de tester des composants réels et on est amené à réaliser des essais sur des maquettes à échelle réduite. Il convient dans ce cas de déterminer les règles de similitude à employer, notamment pour l'excitation, en fonction des phénomènes que l'on cherche à reproduire.

Pour les essais sismiques où les phénomènes de gravité sont sans effets sur les mouvements étudiés, la similitude généralement employée est la similitude en vitesse (conservation de vitesses maximales ou des contraintes). Dans ce cas si "e" est l'échelle de la maquette, le niveau d'accélération appliquée à la maquette sera l'accélération réelle divisée par l'échelle, tandis que les temps seront multipliés par le facteur d'échelle.

3 - ESSAIS STATIQUES ET DYNAMIQUES EN LINEAIRE . DETERMINATION D'UN MODELE ELEMENTS FINIS

Une fois définie la maquette, ces premiers essais auront pour but de caractériser le comportement statique et dynamique de la structure en linéaire. Parallèlement la modélisation en éléments finis sera réalisée et validée progressivement, voire même modifiée ou affinée en fonction des résultats des essais.

Tout d'abord les essais statiques (chargement ou déplacement imposé) permettent de déterminer la raideur globale de la structure ainsi que sa déformée. Comme la structure est soumise, lors des essais sismiques, à des chocs, il est également nécessaire d'étudier en statique la raideur locale de la structure aux points de choc (par exemple les raideurs d'ovalisation des assemblages combustibles au niveau des plaquettes).

Avant d'aborder les essais dynamiques à faible niveau, il est utile de mesurer la masse, la position du centre de gravité, les moments d'inertie de la structure. Le modèle numérique doit représenter correctement ces grandeurs. Le but des premiers essais dynamiques est de déterminer les caractéristiques vibratoires de la structure en linéaire. Il existe trois méthodes habituellement utilisées pour ce type d'essais :

- les excitations harmoniques ou balayage sinus

- les excitations aléatoires (bruit blanc)
- la réponse impulsionnelle de la structure (marteau à choc).

A partir de l'analyse des résultats on détermine :

- la fonction de transfert de la structure ,puis les fréquences propres , les amortissements et les déformées de chaque mode
- les masses généralisées et les déplacements généralisés de chaque mode (par intégration à partir de la masse)

REMARQUES:

- a- Si la méthode de calcul utilisée pour l'interprétation des essais dynamiques est la recombinaison modale, on pourra utiliser comme point de départ les valeurs expérimentales des amortissements modaux. Néanmoins les valeurs des amortissements variant avec le niveau d'excitation , il faudra , en général , ajuster les valeurs d'amortissement utilisées lors des calculs sismiques. Si au contraire on utilise la modélisation éléments finis pour faire directement les calculs on ne peut plus utiliser les amortissements modaux et l'hypothèse habituellement faite est que la matrice d'amortissement C se met sous la forme $a*K+b*M$ où K et M sont les matrices raideur et masse de la structure. Néanmoins ces deux approches sont équivalentes car elles supposent que la matrice d'amortissement se diagonalise sur la base des modes propres (hypothèse de Basile). Cette hypothèse est valable si l'amortissement est réparti d'une manière homogène sur la structure (amortissement du matériau). Par contre si la structure possède des amortissements localisés , cette hypothèse n'est plus valable et on peut être conduit à coupler les modes réels de la structure, voire même à utiliser des modes complexes.
- b- Dans le cas où la structure est baignée par du fluide, il convient de faire des essais dynamiques à faible niveau en présence de fluide , pour caractériser son influence sur le comportement de la structure (abaissement de fréquence, augmentation de l'amortissement). Au niveau du modèle numérique, suivant les phénomènes que l'on veut étudier, le fluide pourra être modélisé forfaitairement (masse ajoutée , augmentation de l'amortissement) ou au contraire maillé en éléments finis.

4 - ESSAIS ELEMENTAIRES DE CHOC

A l'issue des essais statiques et dynamiques en linéaire, le comportement de la structure est assez bien connu et la modélisation permet de retrouver les résultats expérimentaux.

Avant d'aborder les essais sismiques proprement dits, où des chocs complexes peuvent intervenir sur la structure, il convient d'effectuer des essais élémentaires de choc (impact sur une butée ou choc entre deux sous-structures), afin de déterminer les paramètres de choc qui seront utilisés dans le calcul. Dans le cas d'un impact sur une butée, il est nécessaire de déterminer l'impédance de cette butée.

Lors de tels essais, il est important de mettre en place une instrumentation complète (déplacement, vitesse, force de choc), afin de pouvoir ajuster au mieux le modèle.

5 - ESSAIS SISMQUES

Après l'ensemble de ces essais préliminaires, on connaît suffisamment le comportement linéaire de la structure ainsi que la caractérisation des points de chocs, et on peut réaliser les essais sismiques.

L'instrumentation utilisée lors de ces essais est souvent moins importante, pour chaque phénomène pris isolément, que celle utilisée précédemment, en raison du nombre de points à étudier et de la place disponible pour installer cette instrumentation. Au niveau des résultats des essais sismiques on ne dispose donc pas, comparativement, de la même quantité d'informations, par rapport aux résultats des essais fondamentaux.

Pour l'interprétation des essais sismiques, quelques précautions sont à prendre. Il faut utiliser comme signal d'excitation dans les calculs, l'accélération mesurée sur la table qui diffère du signal théorique, cela étant dû au filtrage du verin et de la chaîne d'asservissement. Par ailleurs les corrélations calculs-essais seront obtenues aux points où sont fixés les capteurs qui doivent être précisément repérés (tenir compte des supports par exemple).

En dépit de ces efforts, il arrive que les corrélations ne soient pas excellentes. Ces écarts peuvent être dus, à une dispersion entre des sous-structures théoriquement identiques (assemblages combustibles) ou à une dispersion sur les jeux entre la structure et les butées. Il convient alors d'ajuster le modèle : modélisation des liaisons, jeux aux butées, amortissements (en fonction du niveau d'excitation), prise en compte de certains effets non-linéaires très locaux, etc...

6 - APPLICATION : ETUDE SISMIQUE DES COEURS DES CENTRALES A NEUTRONS RAPIDES

6-1 - GENERALITES - DESCRIPTION DE LA MAQUETTE RAPSODIE

Nous allons illustrer cette méthodologie à l'aide des études qui ont été faites pour les coeurs des centrales des réacteurs à neutrons rapides.

Ces coeurs peuvent être schématiquement représentés par un faisceau de poutres (assemblages combustibles, protection neutroniques latérales, etc...) fixées à une base commune, le sommier, et immergées dans du fluide. Ces poutres de différents types ont des caractéristiques vibratoires distinctes d'un type à l'autre et de plus elles sont séparées les unes des autres par des jeux faibles. Lors d'une excitation sismique, des chocs peuvent se produire entre les assemblages, induisant un comportement non-linéaire du coeur. Pour analyser ce comportement un code de calcul, CORALIE, a été développé (ref. 1). Afin de valider les méthodes utilisées dans ce code, des essais ont été réalisés sur la maquette de coeur RAPSODIE.

La maquette RAPSODIE est constituée de 91 assemblages combustibles, situés en son centre (1 assemblage central et 5 couronnes) et de 180 protections neutroniques latérales (4 couronnes) entourant les combustibles (fig. 1). Les combustibles (1,5m de haut) qui pèsent 20 kg, sont constitués d'un pied cylindrique surmonté d'un tube hexagonal (fig. 2). Le pied des combustibles, inséré dans le sommier a deux points de contact avec celui-ci : en partie basse une portée sphère - cône sans jeu reprend le poids de l'assemblage et en partie haute, un guidage avec faible jeu permet l'insertion du pied dans le sommier (fig. 3). A 500mm du sommet du tube hexagonal sont situées les plaquettes. Les protections neutroniques latérales (PNL), constituées d'un cylindre d'acier (diamètre 48mm, hauteur 1,3m) sont fixées par boulonnage dans la partie supérieure du sommier (fig. 4).

Les assemblages sont séparés les uns des autres par un jeu de 1mm. Au niveau des plaquettes ce jeu est réduit à 0,1mm. On admettra a priori que les chocs entre assemblages seront localisés en deux points : aux plaquettes, où le jeu est très réduit et en tête des assemblages, là où le déplacement est maximal.

La dimension des assemblages correspond aux assemblages

du réacteur SPX1 à l'échelle 1/3. On utilisera donc pour les essais sismiques la règle de similitude en vitesse décrite au §2.

6-2 - DESCRIPTION DES ESSAIS PRELIMINAIRES

Les essais préliminaires sur les assemblages de la maquette ont particulièrement concerné les combustibles. En effet les PNL ayant une géométrie très simple leur modélisation n'a posé aucune difficulté.

Les essais statiques ont consisté :

- essais statiques sous une force imposée en tête d'assemblage. Ces essais ont permis de déterminer la raideur et la déformée statique des combustibles.
- mesure de la raideur locale d'ovalisation du tube hexagonal des combustibles au niveau des plaquettes. La tête des assemblages étant constituée d'une pièce très massive la raideur d'ovalisation à ce niveau est supposée infinie.
- mesure de la masse, de la position du centre de gravité et des moments d'inertie des combustibles.

Ces essais ont permis d'élaborer une première modélisation éléments finis des assemblages qui pourra être éventuellement modifiée en fonction des résultats des essais dynamiques. Ces essais ont consisté à exciter les combustibles, à l'aide d'un pot vibrant situé en tête, avec une force sinusoïdale dont on fait varier la fréquence (balayage sinus). Ils ont permis de vérifier l'accord avec le modèle pour les fréquences propres (8hz et 45hz) et les déformées modales. Les coefficients d'amortissement ont également été déterminés et on a constaté une dispersion assez importante sur ces valeurs d'un assemblage à l'autre.

Ces mêmes essais dynamiques ont été repris en eau pour déterminer les masses ajoutées qui seront introduites dans le calcul.

6-3 - ESSAIS DE LACHER

Des essais de lâcher d'un assemblage sur une butée fixe et sur un autre assemblage ont été effectués. Ils ont permis de valider la modélisation des chocs (ressorts et amortisseurs) en comparant les valeurs expérimentales et calculées des forces de choc et des temps de choc.

6-4 - ESSAIS SISMIQUES - COMPARAISON CALCULS ESSAIS

Des essais sismiques en air et en eau ont été réalisés à différents niveaux d'excitation (25%, 50%, 75%, 100% du seisme de base de SPX1 corrigé du facteur d'échelle de la maquette). Au cours de ces essais, ont été mesurés les déplacements en tête des assemblages de la file centrale de la maquette.

Le modèle de calcul, développé pour interpréter les essais sismiques, représente la file centrale de la maquette. Afin d'obtenir des corrélations calculs-essais satisfaisantes il a été nécessaire d'ajuster les coefficients d'amortissement et de représenter assez finement les liaisons entre les assemblages et le sommet (en partie haute). Un exemple de corrélation calcul-essai est présenté figure 5 ; il concerne l'assemblage central de la maquette et montre un bon accord entre le calcul et l'expérience.

7 - CONCLUSION

Les essais sismiques sur maquette, destinés à la validation des méthodes de calcul doivent comporter des essais préliminaires permettant de mettre au point le modèle de calcul. Néanmoins l'interprétation des essais sismiques et notamment des phénomènes non-linéaires, peut nécessiter un ajustement du modèle sur certains paramètres qui ont une grande importance dans la réponse de la structure (modélisation des liaisons, jeux...).

REFERENCES

- /1/ D. Brochard F. Gantenbein R. J. Gibert
SEISMIC BEHAVIOUR OF LMFBR CORES
SMIRT 8 EK1-2 Bruxelles aug. 19-23 1985

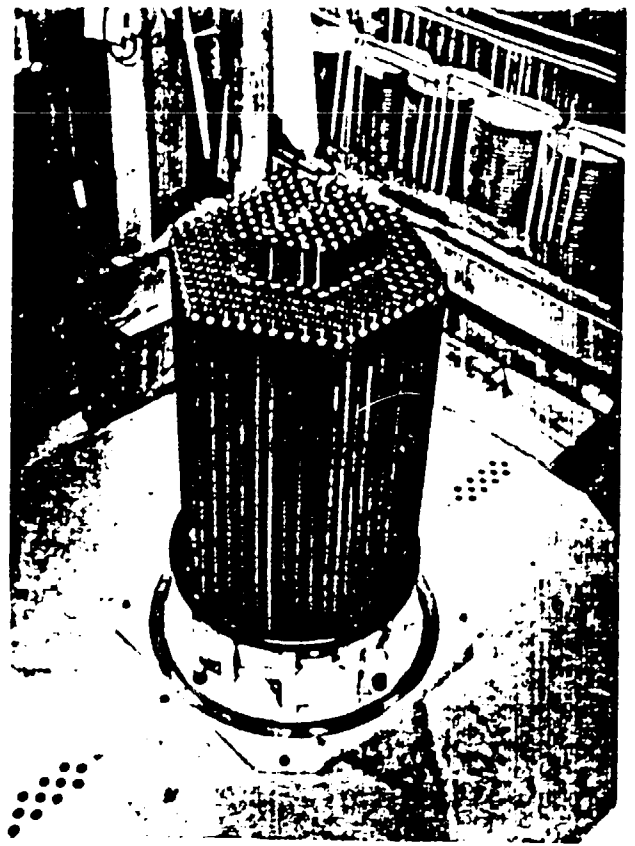


FIGURE 1 : MAQUETTE DE COEUR RAPSODIE

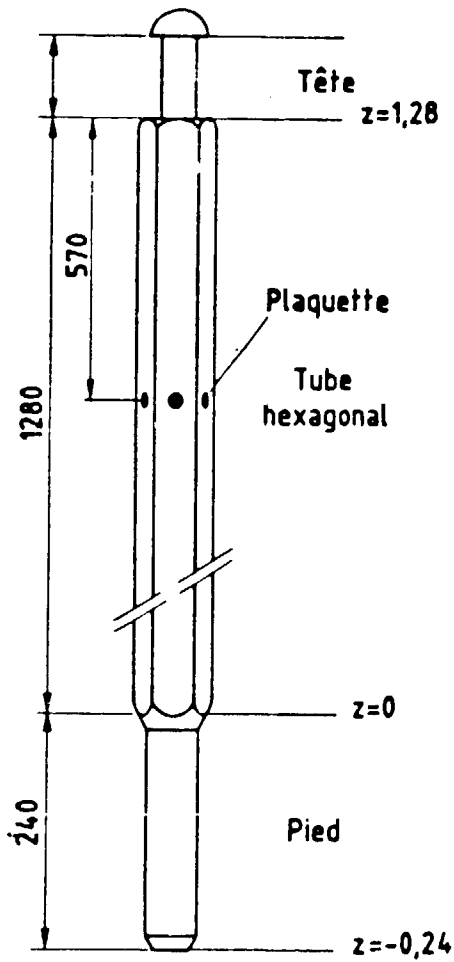


Fig. 2 - ASSEMBLAGE COMBUSTIBLE

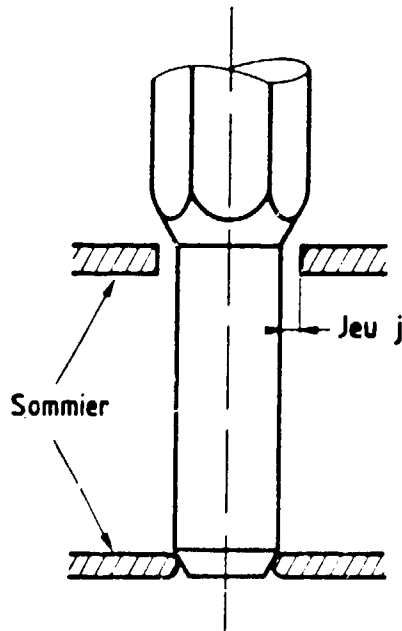


Fig. 3 - LIAISON ASSEMBLAGE COMBUSTIBLE-SOMMIER

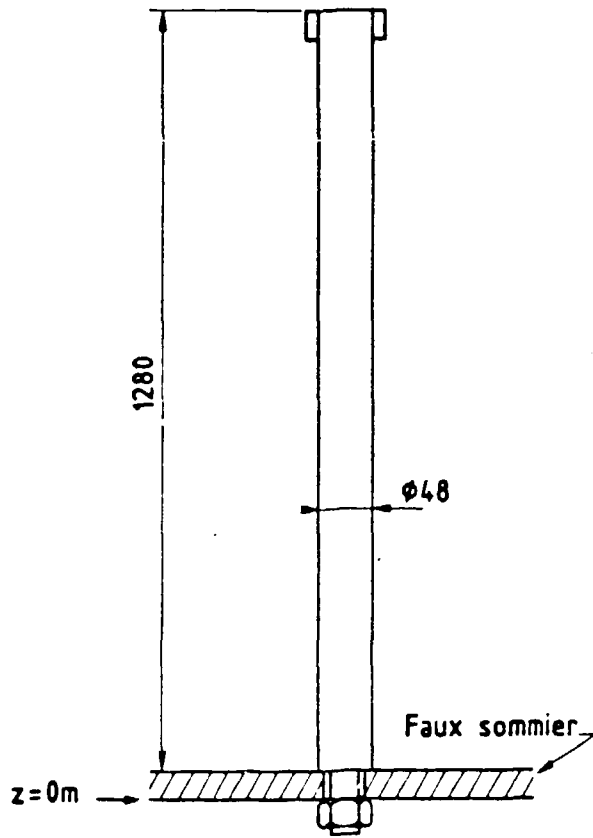


Fig. 4 - PROTECTION NEUTRONIQUE LATÉRALE

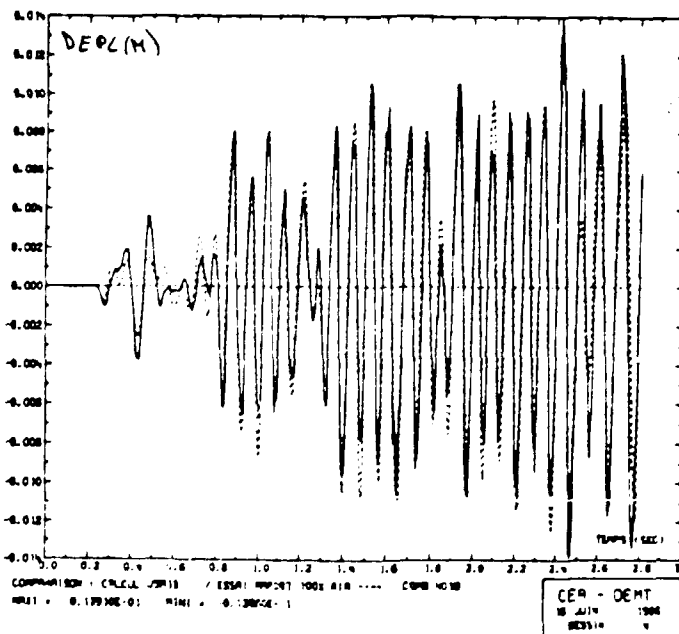


FIGURE 5 : COMPARAISON CALCUL-ESSAI
DEPLACEMENT EN TÊTE DU COMBUSTIBLE CENTRAL