

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE

CENTRE D'ETUDES NUCLEAIRES DE SACLAY

Service de Documentation

F91191 GIF SUR YVETTE CEDEX

CEA-CONF - - 8182

R5

**COMPLEMENTARITE DES CALCULS ET DES ESSAIS DANS L'ETUDE DES
STRUCTURES**

**HOFFMANN, A. CEA CEN Saclay, 91-Gif-sur-Yvette (France).
IRDI, DENT/SENTS**

**Communication présentée à : Conference on testing for quality
Paris (France)
15-16 Oct 1985**

COMPLEMENTARITE DES CALCULS ET DES ESSAIS

DANS L'ETUDE DES STRUCTURES.

Alain HOFFMANN

**Chef du Service d'Etudes de Mécanique
et Thermiques des Structures.**

-E-E-E-E-E-E-E-E-

L'étude des structures ne peut se faire sans calculs. Dans le domaine du nucléaire c'est particulièrement vrai. Les calculs de structures utilisent les moyens les plus perfectionnés : énormes programmes de calcul et ordinateurs les plus performants.

Il est un fait que les structures des réacteurs nucléaires sont dimensionnées par le calcul sur ordinateur. Les méthodes employées sont validées par des essais qui apportent ainsi la confiance et la sûreté nécessaires. Par exemple, les structures du réacteur Super Phénix sont toutes calculées. Etant donné la taille de ces dernières il n'y a pas ou presque pas, d'essais à l'échelle un. On fait donc des maquettes, plus ou moins proches de la réalité envisagée. On simplifie, on isole les phénomènes à étudier, et on construit des maquettes jusqu'à l'échelle 1/10°. Le calcul comparé aux résultats expérimentaux, validé, ajusté, est ensuite appliqué aux structures du prototype et ce sont ces résultats qui constituent le dossier de dimensionnement sur lequel les autorités de sûreté se prononcent. Bien sur, il s'agit là d'un schéma un peu simpliste, mais assez vrai.

Les activités du Service d'Etudes de Mécaniques et Thermiques des Structures sont pour l'essentiel organisées autour de ce schéma. Aussi environ la moitié de ses activités est consacrée au développement de moyens de calculs toujours

plus puissants et précis et à leur application aux structures des réacteurs nucléaires, tandis que l'autre moitié concerne le secteur expérimental, lui aussi en continuel développement.

Ces deux domaines, l'un du calcul, l'autre de l'expérience sont complémentaires et nous nous sommes toujours employés à réaliser cette symbiose nécessaire, et essentielle à nos yeux. La confrontation avec le réel, avec les faits, qui sont le plus souvent têtus, est un enrichissement constant.

Je vais donc essayer d'illustrer cette complémentarité, à travers notre expérience (certains ont dit que l'expérience était intransmissible), et par le moyen d'exemples pris dans notre service. Ces exemples montreront qu'il existe des calculs faux, comme il existe des essais faux et que c'est parfois la confrontation des deux qui permet de mettre en évidence des erreurs qui seraient passées inaperçues.

On peut classer, sans doute arbitrairement, les essais en deux grandes catégories :

- la première concerne les essais dits de qualification. Il s'agit de tester dans les conditions les plus proches de la réalité un composant.
- la seconde concerne la mise en évidence de phénomènes physiques et est destinée à définir ou valider les modèles utilisés dans les calculs.

Dans la suite de cet article je me consacrerai uniquement à ce deuxième type d'essais.

L'essai est alors conçu afin de mettre en évidence un phénomène. Comment le séparer des autres ? Quelles sont les importantes relatives des autres phénomènes qui se manifestent toujours dans une expérience, qui souvent par

nature, apparait comme imparfaite, car réelle. Il est évident que le calcul peut apporter un élément essentiel d'appréciation. Par exemple, il y a quelques années nous avons voulu mesurer le coefficient de flexibilité d'un Té d'une tuyauterie de PHENIX (cette fois à l'échelle un). La mesure semblait parfaite ; le calcul aussi, mais les deux résultats étaient trop différents. Une série de calcul montra que la plaque de support, qui semblait être un encastrement parfait, était trop souple et la mesure de flexibilité du té était en fait une mesure de la flexibilité de la plaque. Une mesure différentielle, éliminant la plaque, montra alors que le coefficient de flexibilité était conforme au calcul, et aux valeurs prises dans la littérature. On avait donc réalisé, ce qu'on peut appeler un essai faux.

Une autre source d'erreur est possible. Les résultats d'un essai sont vus, en fait à travers des capteurs et une électronique de plus en plus importante. Quelle confiance accorder aux capteurs, à la chaîne de mesure et d'acquisition ? C'est un problème difficile que je n'évoquerai pas. Mais je voudrais donner un deuxième exemple : une expérience de fouettement de tuyauterie. L'évolution des pressions données par les capteurs semblait étrange. Une série de calcul de dépressurisation donna des valeurs de pression très différentes. Après un certain temps, de réflexion, de remise en cause des calculs, puis des essais, il apparut que les capteurs de pression utilisés étaient sensibles à la température, et que leurs indications étaient erronées. L'essai repris avec une nouvelle série de capteurs conduisit cette fois à des résultats satisfaisants.

Il existe des essais justes. Tout est parfait, ou presque, et le calcul donne un résultat complètement différent. La modélisation semble bonne, mais on calcule autre chose, une structure qui n'est pas celle essayée. Un exemple encore pour illustrer. Une première série d'essais de ruine de dalle en béton donne des résultats qui se comparent

bien aux calculs. La deuxième série non. Après un certain temps, toujours trop long, car "le temps c'est de l'argent", on découvre que des fers utilisés dans la deuxième série sont différents des premiers ; la limite d'élasticité est bien plus élevée. Pourquoi ? Un problème de fabrication. Sans la présence des calculs, cette anomalie n'aurait pas été mise en évidence.

Les essais donnent parfois des résultats qui se placent sur des courbes qu'on a tendance à vouloir parfois trop parfaite, trop belles. La tentation est alors d'éliminer les points aberrants, et cette tentation est parfois grande. De bonnes raisons sont évoquées : dérive de capteurs, essais repris le lendemain, fluage etc... Il y a quelques années un essai de coude de tuyauterie sans pression montrait une courbe d'évolution en fonction de la pression qui avait un point d'inflexion difficilement interprétable. La courbe expérimentale fut donc quelque peu lissée. Mais un calcul ultérieur montra ce phénomène, et la courbe expérimentale retrouva son allure initiale.

Il existe naturellement des calculs sophistiqués qui sont "totalement faux". La modélisation semble parfaite, mais le résultat d'essai est là têtue, et il résiste. On a calculé autre chose. L'encastrement pris comme hypothèse de calcul n'est pas un encastrement dans la réalité il y a les imperfections géométriques, le matériau qui se révèle plus inconnu que prévu, et la modélisation qui apparaît à la fin comme totalement insuffisante pour appréhender le phénomène qui se révèle de plus en plus complexe à mesure qu'on l'étudie. Par exemple, sous un séisme, le flambage de cylindre minces concentriques et en présence d'eau se révèle comme "incalculable" actuellement tant la complexité des phénomènes est grande.

La préparation des essais a évidemment à gagner quand cela est possible, des calculs préliminaires qui

permettent d'établir les ordres de grandeur nécessaires pour les différents capteurs, et leur position la meilleure. Autant que possible nous procédons ainsi. Par exemple, un essai d'une structure complexe, le redan de Super Phénix avec ses cheminées a été essayé à l'échelle 1/10°. Les calculs préparatoires ont permis de préciser les points de mesure, de donner un ordre de grandeur de la charge admissible, de vérifier l'importance des conditions aux limites et la validité de l'essai.

La confrontation calcul-essai est souvent une aventure. Il est rare qu'un calcul donne du premier coup le résultat de l'essai. Si cela est le cas, la tentation est de s'arrêter là. C'est peut-être inquiétant, car le calcul peut être le résultat fortuit d'erreurs de modélisation, de calcul. Il existe des calculs idiots donnant néanmoins le résultat expérimental.

Ce qui arrive le plus souvent c'est le résultat calculé différent de celui de l'essai, et c'est un stimulant pour la compréhension des phénomènes. Une recherche systématique doit commencer afin d'analyser, de comprendre le pourquoi, de ces écarts, c'est à l'issue d'une telle démarche qu'on peut espérer avoir compris un peu de ce qui s'est passé. C'est au cours de ce processus, qu'on appelle interprétation, que se révèle parfois la complexité des phénomènes qui sont apparus au prime abord très simples (*) De tels exemples existent chez nous en grand nombre, pour ne citer que celui de la première fréquence propre d'une poutre en béton contraint.

Je ne pense pas ici dans cet article, avoir évoqué tous les aspects de cette complémentarité essais-calculs. Quelques exemples, uniquement pris dans notre service, ont montré que la qualité, la vérité, ne sont pas des choses aisées à atteindre, et que dans ce domaine comme dans d'autres le travail, la perspicacité, l'esprit critique et la modestie, sont nécessaires.

* Il est écrit dans l'Ecclésiaste : "Qui accroît sa connaissance accroît sa douleur"