

## Thermo-Mechanical Analysis of SUPER-PHENIX's Secondary Pumps

J. Aguilar, P. Pasquet, J.P. Saussais

*Compagnie Internationale de Services en Informatique, 35 Bd. Brune, F-75680 Paris Cedex 14, France*

### ABSTRACT

SUPER-PHENIX is the french fast breeder, built near the towns of Lyon and Grenoble. The used technology is recent : the pressures are relatively low but the temperatures are very high (more than 400°C) JEUMONT-SCHNEIDER is the constructor of the secondary pumps and has asked to the structural analysis department of CISI to show the good design of these pumps.

The object of this study is the writing of an analysis report showing the good mechanical design of secondary pumps of the fast reactor Super-Phenix. This document is one of the parts of the safety report.

In this paper we consider only the thermal loading. For these pumps, this loading is the most important. The analysis has been performed with an efficient finite element system - CASTEM - developed by the French Atomic Commission (CEA).

The analysis may be described in three principal phases :

#### Thermal analysis

These one have permitted to fixe the thermal fields in the studied structures for the different cases of working considered as permanent or transient. The different thermal behaviour are : conduction, imposed flow, forced convection, radiation in finite media or cavity....

#### Mechanical analysis

All of these have been performed with the assumption of a linear behavior of materials. In these analysis, the loading are the non uniform temperatures resulting of the thermal analysis.

#### Inventorying of results

This parts, perhaps the most important, consists of drawings of initial and deformed shapes, iso curves of displacements or stresses but also verifications of nuclear regulations.

All these verifications are performed according to the ASME III code case 1592 and 1481 for high temperatures. They are automatized in a special computer program.

## INTRODUCTION

L'étude que nous présentons constitue une partie du dossier de calcul des pompes Superphenix. De nombreux cas de charge ont été étudiés : flambement, statique, séisme [1]. Les chargements thermiques sont parmi les plus sévères, à cause notamment des températures de fonctionnement et du caractère propre d'un chargement thermique.

Pour cette étude nous avons utilisé les possibilités du système CASTEM [2] [3] en y ajoutant certains développements concernant en particulier les études à la fatigue.

Plutôt que de présenter les résultats, nous présenterons la méthodologie du calcul.

En effet, nous pensons que l'approche faite au cours de cette étude est relativement originale tant en ce qui concerne la modélisation que le passage du transitoire thermique au permanent mécanique ou encore le post-traitement des résultats.

## MODELISATION

Le dépouillement des résultats selon la réglementation ASME nous impose de connaître le champ de contraintes dans trois dimensions indépendantes. Néanmoins nous avons utilisé une modélisation axisymétrique qui permet une interprétation plus souple.

Ce modèle nous fournira les contraintes tangentielles et radiales totales ainsi que la contrainte circonférentielle de membrane.

Le modèle axisymétrique de la figure 3 est composé :

- d'une partie interne comportant 138 éléments finis et 350 nœuds,
- d'une partie moyenne (l'aube) comportant 168 éléments et 395 nœuds,
- d'une partie externe comportant 610 éléments et 1481 nœuds.

Dans la partie inférieure de ce modèle, on effectue quatre coupes planes ce qui nous donne quatre modèles plans (dont la figure 4 est un exemple) que l'on traitera en déformation plane. Ces quatre modèles vont nous permettre d'avoir une estimation de la contrainte circonférentielle inaccessible par un calcul axisymétrique. On fera donc sur le modèle axisymétrique et sur les modèles plans :

- 5 calculs thermiques correspondant aux transitoires sélectionnés,
- 10 calculs mécaniques statiques correspondants pour chaque modèle à 2 instants sélectionnés au cours du transitoire.

Dans le modèle axisymétrique, l'aube ne possède pas cette propriété. Cette partie de la structure à symétrie cyclique a été modélisée géométriquement de manière axisymétrique. Le comportement de l'aube a été schématisé par une matrice de Hooke orthotrope ou anisotrope.

Quand l'aube est plane, les termes non nuls de la matrice sont ceux qui correspondent aux directions dans ce plan. Si l'aube est incurvée, ce qui est le cas dans la partie supérieure de la figure, on fait subir une rotation à la matrice donnée dans le plan méridien.

## CALCULS THERMIQUES

Ces calculs ont permis de déterminer les champs de températures dans les structures étudiées pour les différents cas de fonctionnements considérés en régimes permanent et transitoire.

Les transferts thermiques considérés lors de ces calculs étant :

- la conduction,
- le flux imposé,
- le bilan énergétique nul dans une cavité,
- la convection forcée,
- le rayonnement en milieu infini et en cavités.

Un exemple des résultats est montré sur la figure 5 où l'on remarque que l'échange thermique est radial.

Dans chacun des modèles nous avons effectué un certain nombre de coupes pour lesquelles nous avons calculé des grandeurs représentatives du champ de températures, telles que :

- température moyenne,
- différence de température entre peau externe et peau interne,
- gradient de température.

La figure 6 montre la variation de ces grandeurs au cours du temps.

Les instants pour lesquels une de ces valeurs est maximale sont retenus pour le calcul mécanique. Ce critère conduit en général à choisir 2 ou 3 instants pour chaque transitoire.

## CALCULS MECANIQUES

Ils ont permis la détermination de champs de déplacements et de contraintes à partir des champs de températures trouvés lors de la phase précédente.

Les contraintes (membrane, flexion et pointe) radiale et axiale sont tirées du calcul axisymétrique ainsi que la contrainte de membrane circonférentielle.

Les contraintes circonférentielles de flexion et de pointe sont fournies par les calculs plans, à l'endroit des coupes uniquement.

Afin de dépouiller les résultats, on est conduit à effectuer un certain nombre de coupes dans les parties internes et externes, la modélisation de l'aube ne permettant pas d'obtenir les contraintes dans cette partie de la structure.

Sous l'effet des charges thermiques, certaines pièces désolidarisées peuvent être amenées à entrer en contact. Bien que l'on puisse tenir compte de cette possibilité dans le système CASTEM, au cours d'un calcul évolutif, le parti-pris d'un calcul linéaire au cours de cette étude nous a obligé à ne pas utiliser cette méthode. Si le cas se présentait, le calcul était repris en solidarissant les pièces.

La figure 7 montre un exemple de la déformée du modèle.

## DEPOUILLEMENT DES RESULTATS

Les règles de dimensionnement pour les composants de classe I décrites dans le code ASME III NB sont applicables seulement aux conditions de fonctionnement pour lesquelles les effets de fluage et de relaxation sont négligeables.

Les températures limites étant (ASME III NB 1120) :

- 700°F (371°C) pour les aciers au carbone
- 800°F (427°C) pour les aciers austénitiques.

Le code case 1592 (CC 1592) fournit les règles de dimensionnement applicables aux composants de classe I au-delà de ces valeurs de température.

Les règles que nous avons appliquées aux résultats du calcul des composants des pompes secondaires lorsque les températures dépassaient les limites ci-dessus, sont classées en trois groupes :

- 1) Limitations imposées aux contraintes et aux intensités de contraintes.
- 2) Limitations imposées aux déformations inélastiques permettant de se garantir contre les phénomènes de rochet (déformation progressive due à des chargements cycliques) pouvant survenir à haute température (fluage).
- 3) Limitation du dommage dû à la fatigue de la structure ou d'une partie de la structure soumise à des chargements cycliques.

Cette dernière règle conduit à calculer un facteur d'usage qui doit rester inférieur à 1 pour satisfaire à la réglementation. C'est le rapport du nombre d'occurrences d'un cycle au nombre d'occurrences admissibles. Le nombre d'occurrences calculées dépend de la déformation équivalente maximale et de la température maximale de paroi.

## REFERENCES

- [1] Utilisation de la méthode de synthèse modale pour l'étude des pompes secondaires de Superphénix  
J. AGUILAR - P. PASQUET - J.P. SAUSSAIS  
Journées "Chocs et vibrations" - LYON 1982
- [2] The CASTEM finite element system  
A. COMBESURE - A. HOFFMANN - P. PASQUET  
Finite Element System Seminar - SOUTHAMPTON 1981
- [3] Manuel d'utilisation de CASTEM  
CISI

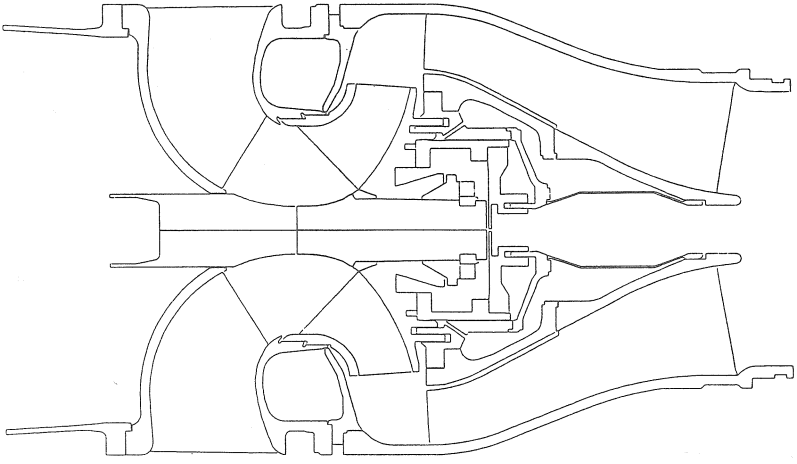


FIGURE 2  
CONTOUR DE LA STRUCTURE

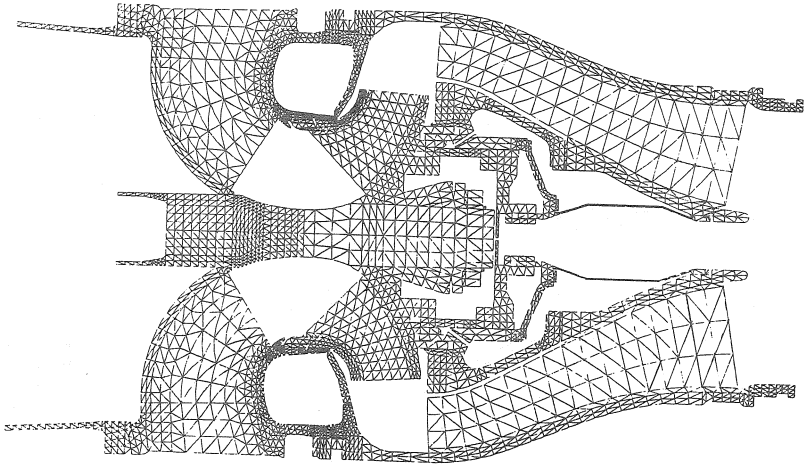


FIGURE 1  
MALLAGE DE L'ENSEMBLE DE LA STRUCTURE



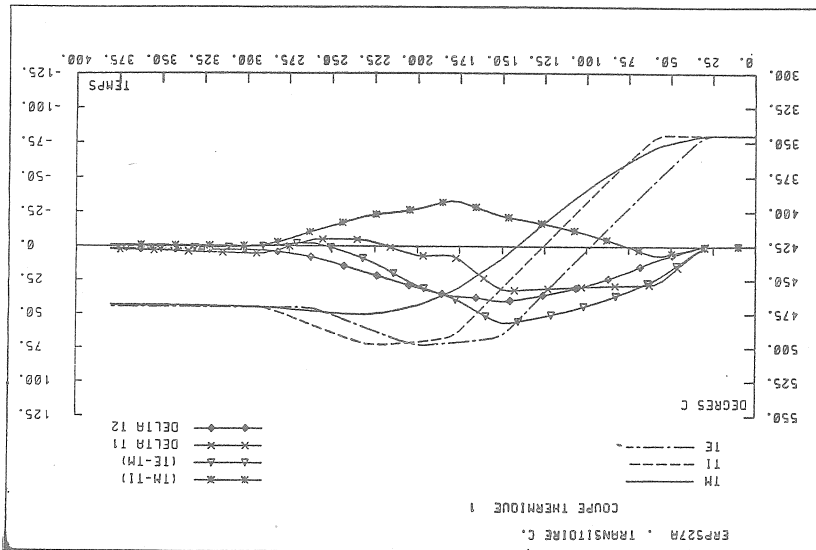


FIGURE 6  
PROFIL DE TEMPERATURES

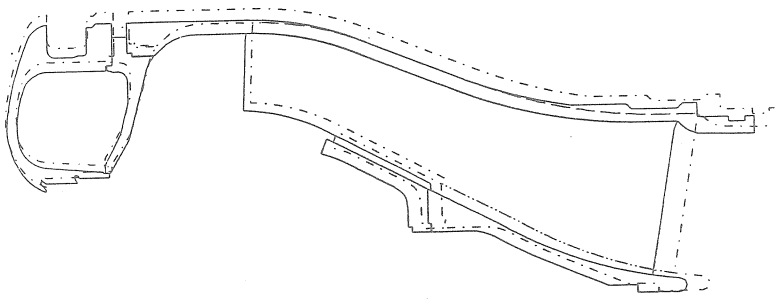


FIGURE 7  
DEFORMEE DU MODELE