



Symposium on thermal stress
Paris (France)
CEA-CONF--7633

2 May 1984

DRNR / P / N° 291

**FAIENCAGE THERMIQUE : ETUDE DES CONSEQUENCES MECANIQUES
DE FLUCTUATIONS RAPIDES DE TEMPERATURE SUR UNE PAROI
METALLIQUE**

PRADEL Philippe

RESUME :

Après un examen rapide des conditions thermohydrauliques en sodium liquide qui conduisent à des fluctuations importantes de température au voisinage de parois métalliques, on étudie les modes de transfert de ces fluctuations dans l'épaisseur de la structure et les conséquences mécaniques à long terme. Un examen des méthodes de justification du dimensionnement de telles structures permet de mettre en lumière la nécessité de la cohérence des approches mécaniques et thermiques de ce problème.

Société Française des thermiciens et groupement universitaire de thermique. Journée d'études sur les contraintes thermiques. Paris, le 2 Mai 1984.

INTRODUCTION :

L'emploi du sodium liquide à haute température comme fluide caloporteur des réacteurs à neutrons rapides a de nombreuses conséquences sur le dimensionnement des structures. Parmi celles-ci on peut retenir :

- des coefficients d'échange sodium - structure en général très élevés,
- des contraintes primaires maintenues faibles puisqu'il n'est pas nécessaire de pressuriser les circuits.

Il en résulte que la justification du dimensionnement se fait suivant deux axes principaux, à savoir l'analyse sismique et l'analyse thermomécanique.

Pour ce qui concerne l'analyse thermomécanique, l'essentiel des études consiste à évaluer les chargements thermiques des structures pendant le fonctionnement normal ou incidentel de la chaudière. De plus, pour certaines structures, vient se superposer à ces études le problème de fluctuations rapides de la température du sodium avoisinant dues à des mélanges de courants à températures différentes. Ces fluctuations peuvent être permanentes (sortie coeur,) ou liées à certains modes de fonctionnement (tés mélangeurs sur circuit). On s'intéressera particulièrement au cas de fluctuations permanentes qui posent les problèmes de façon plus aigue dans plusieurs spécialités :

- la thermohydraulique, pour approcher de façon précise les fluctuations de température dans le sodium et sur la paroi de la structure,
- la thermique dans l'analyse de la transmission de ces fluctuations à travers l'épaisseur de la structure,
- le dimensionnement avec les problèmes de fatigue aléatoire à très grand nombre de cycles et de cumul de ce type de sollicitations avec les sollicitations usuelles dues aux transitoires thermiques normaux ou incidentels de la chaudière.

Le type de dommage dont on cherche à se protéger est la création d'un réseau de fissures de peau disposées en maille de faïençage qui d'elles-mêmes ou sous d'autres sollicitations peuvent évoluer jusqu'à rupture. On rencontre également ce type de phénomène sur les cylindres de laminoirs mais sur des matériaux et avec un chargement différent. [1]. Il faut enfin préciser que, dans le cas des réacteurs à neutrons rapides, l'acier utilisé est un acier inoxydable type 316L et que les écarts maximum de température que l'on rencontre sont généralement inférieure à 150°C.

* * * * *

CARACTERISATION DU CHARGEMENT :

On se trouve confronté à un problème de fatigue thermique usuellement caractérisé par un cycle de contraintes (ou de déformation) et un nombre d'occurrence dans la vie de la structure. On se rend compte rapidement que ce type de caractérisation est inopérant pour le problème de fluctuations aléatoires de température car d'une part sur un signal distribué en fréquence on ne peut effectuer un décompte simple de cycles pendant un temps donné et d'autre part la définition même d'un cycle pose problème. On examine rapidement la méthodologie d'approche du phénomène :

- approche thermohydraulique.

A partir de conditions aux limites d'entrée connues, à savoir les débits et températures de deux courants de sodium liquide on cherche à connaître le signal de température vu par une structure avoisinante ; bien que des modèles numériques de turbulence adaptés à cette recherche soient en cours de développement, cette approche se fait essentiellement de façon expérimentale sur des maquettes en fluide classique ou en sodium. Après résolution des problèmes liés aux capteurs de mesure et à la similitude entre fluides on peut atteindre la valeur maximale de l'amplitude des fluctuations au voisinage de la structure qui peut être significativement inférieur au ΔT initial entre les courants.

Deux cas sont alors envisagés pour déterminer l'amplitude des fluctuations de la peau de la structure :

- écoulements avec couche limite thermique

On peut alors réduire le ΔT mesuré dans le fluide en tenant compte à l'aide de corrélations usuelles d'échange ou d'essais spécifiques de l'atténuation de l'amplitude par la couche limite.

- écoulements avec impacts de jets sur la paroi

Dans ce cas on est conduit à admettre que le ΔT mesuré dans le fluide se transmet intégralement sur la peau de la structure.

Approche thermique de la structure;

A partir de l'amplitude effective sur la peau de la structure on peut à l'aide d'abaques ou de résultats analytiques [2] caractériser l'état de contraintes thermiques de la structure. D'une façon schématique les structures minces et non bridées sont moins sensibles car une partie importante de la variation de température est transformée en variation de la température moyenne qui ne génère pas de contraintes.

L'état de contraintes est alors biaxial

$$\sigma_z = E \alpha \frac{A}{1-\nu}$$

$$\sigma_y = \sigma_z$$

La valeur de A définissant le chargement maximum est alors

$$A = \max_x (\Delta (T(x) - T))$$

c'est-à-dire l'écart maximum entre la température moyenne de la structure et la température de la peau soumise aux fluctuations.

C'est finalement cette valeur A et le temps pendant lequel s'appliquent les fluctuations qui permet une caractérisation simple du chargement.

METHODE DE DIMENSIONNEMENT :

Pour justifier le dimensionnement de structures soumises à ce type de chargements on ne dispose pas actuellement de règles compatibles avec les analyses classiques de fatigue, essentiellement du fait du problème du cumul avec d'autres sollicitations. En effet, on ne peut définir simplement un facteur de dommage sous la forme usuelle

$$D = \frac{n}{N}$$

n nombre de cycles réels
N nombre de cycles admissibles

Deux voies sont alors possibles :

- l'une basée sur l'existence d'une limite de fatigue ou sur une prolongation vers les très grands nombres de cycles de courbes de fatigue "design" [fig. 1]. Pratiquement cela revient à limiter à environ 30°C la valeur maximum de A quelle que soient les autres sollicitations.

- l'autre basée sur des essais avec des sollicitations voisines de celles créées par les fluctuations de température. La valeur admissible de A est alors de l'ordre de 60°C [fig. 2] mais, en tenant compte de la spécificité du chargement, on ne peut être assuré de son conservatisme dans le cas de cumul avec d'autres sollicitations si bien qu'on est conduit dans la pratique à utiliser la première méthode qui dans certains cas peut paraître exagérément pénalisante.

Des études sont en cours pour élaborer une méthode de dimensionnement mieux adaptée en associant de façon étroite les aspects thermiques et métallurgiques. Il faut enfin signaler que l'on n'a volontairement pas évoqué une voie d'approche basée sur l'analyse du signal thermique et sur des essais de fatigue aléatoire bien qu'elle soit également explorée.

REFERENCES

[1] - Influence de différents paramètres mécaniques et métallurgiques sur les mécanismes d'amorçage par fatigue thermique et de propagation des fissures dans le cas des cylindres de laminoirs.

Dias Giusti Lieurade Werquin Bocquet MES Revue de Métallurgie 9.82

[2] - Conduction heat in solids

CARSLAW - SAEGGER

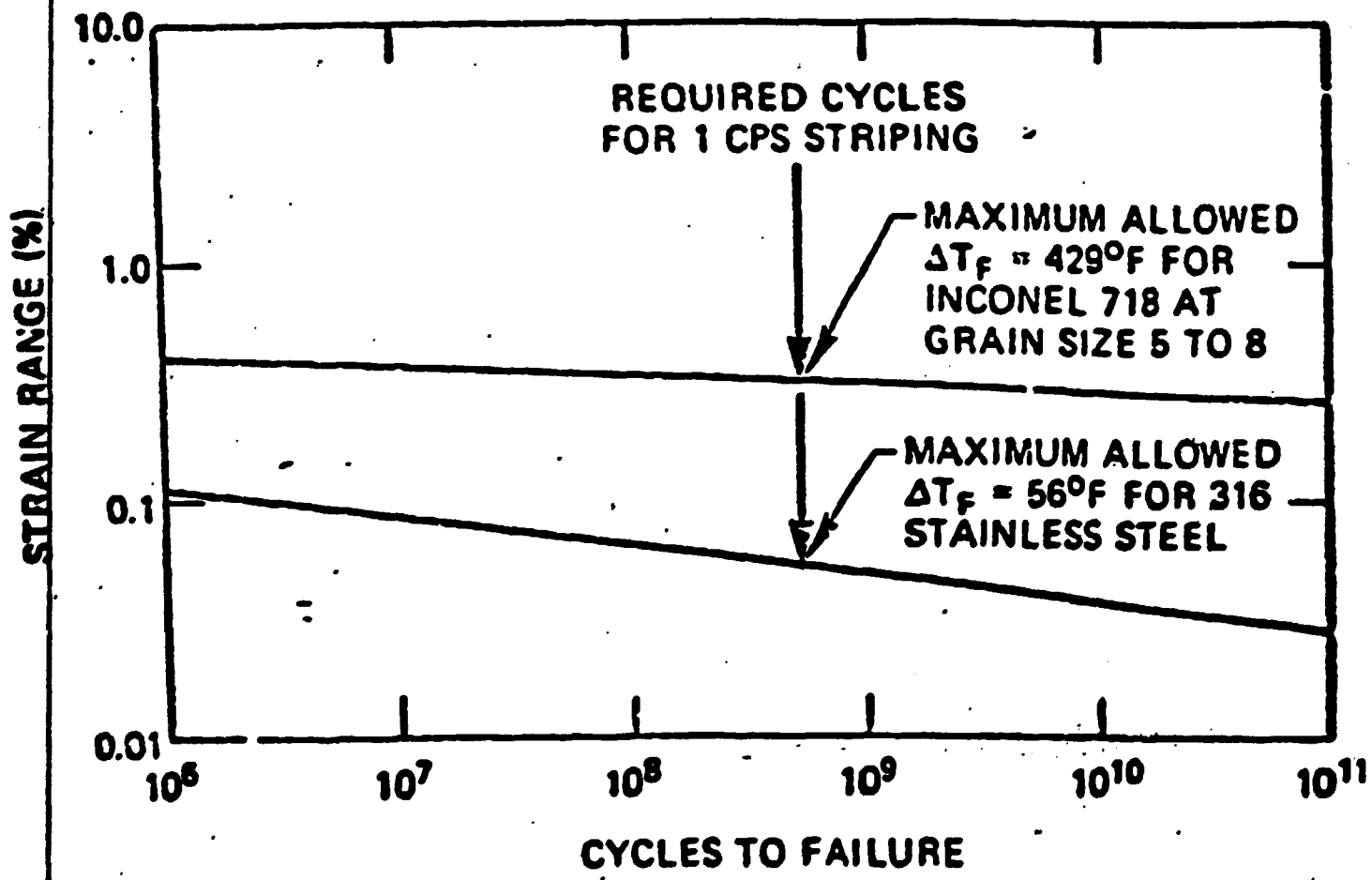
[3] - Liquid metal fast breeder reactor structural material design considerations

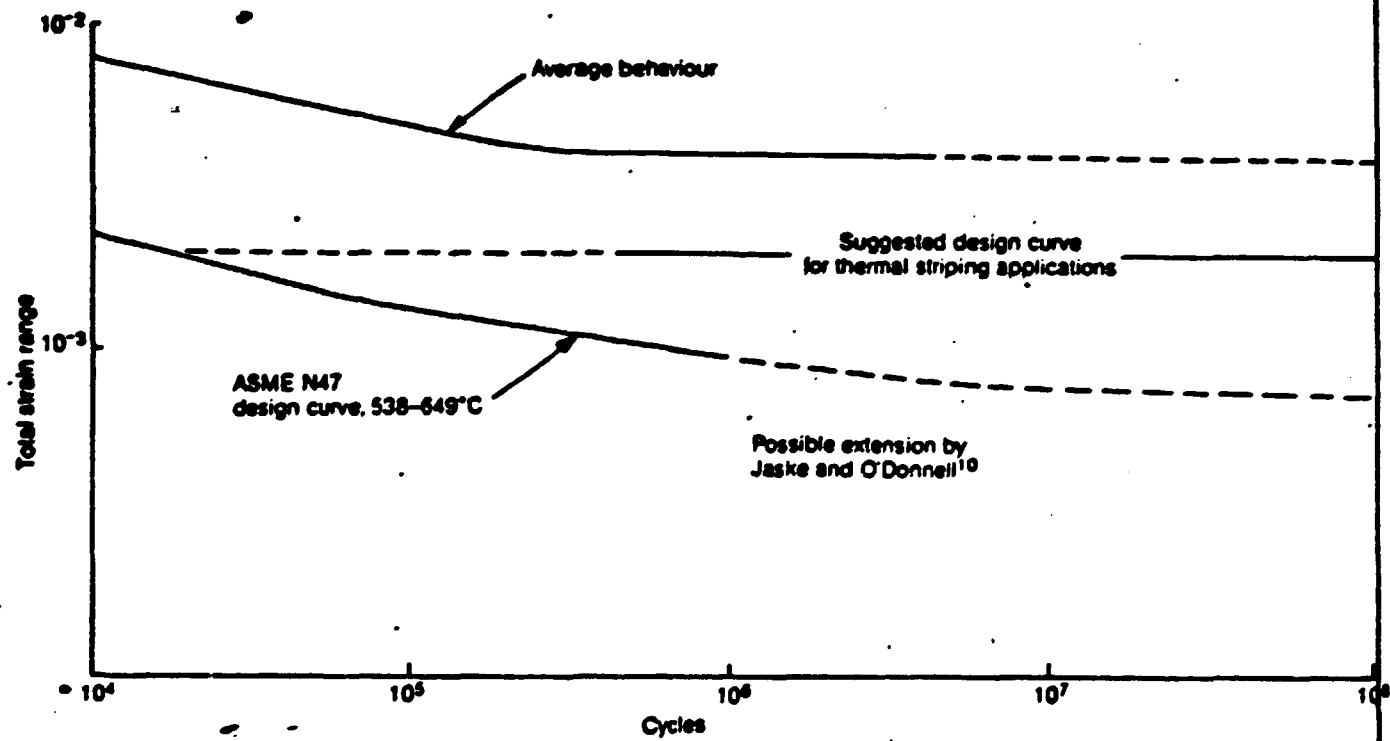
RL HUDDLESTON ORWL CONF. 790. 2360

[4] - Proposal for design against thermal striping

DS WOOD Nuclear Energy 1980 vol. 19 N°6

o o o





FATIGUE A GRAND NOMBRE DE CYCLES -