

1'ISOLATION THERMIQUE DES REACTEURS A HAUTE TEMPERATURE

Y. CORNILLE

Colloque sur les isolants à haute température.  
Paris, 3-4 décembre 1975

CEA-CONF--3440

FR760 2282

## L'ISOLATION THERMIQUE DES REACTEURS A HAUTE TEMPERATURE

### 1 - INTRODUCTION -

Les niveaux de température élevés qui sont considérés pour les Réacteurs à Haute Température (de l'ordre de 750°C pour les réacteurs actuellement en construction ou en projet, et jusqu'à 950°C pour les réacteurs avancés) nécessitent le développement d'une isolation thermique particulièrement efficace et fiable en raison de la fonction essentielle que celle-ci joue pour la sûreté du réacteur. Cette fonction consiste à maintenir froid le caisson en béton précontraint qui contient le circuit primaire sous pression et les générateurs de vapeur tout en limitant les pertes d'énergie vers le circuit de refroidissement soudé sur la peau d'étanchéité qui constitue la face froide de l'isolation thermique.

Nous commencerons par préciser les conditions de travail de l'isolation thermique dans les R.H.T. en soulignant les qualités qu'elles impliquent pour celle-ci, puis nous décrirons quelques types de calorifuge actuellement proposés et les directions de recherches pour les améliorer ou les remplacer.

### 2 - CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT D'UN CALORIFUGE H.T.R. -

Dans un but de simplification, il est fait uniquement référence aux conditions de fonctionnement des réacteurs à cycle de vapeur du type proposé par GENERAL ATOMIC. Il s'agit d'un réacteur à caisson multicavité (Fig. 1),

le coeur du réacteur étant situé dans la cavité centrale et les générateurs de vapeur dans des alvéoles ménagés dans l'épaisseur des parois du caisson. Le fluide caloporteur est de l'hélium sous pression qui circule de bas en haut à travers le coeur et de haut en bas à travers le faisceau du générateur de vapeur. Les cavités des générateurs de vapeur communiquent avec la cavité principale par deux tuyaux dont l'un assure le passage du gaz chaud vers les générateurs de vapeur et l'autre le retour du gaz froid vers le coeur.

2-1 - Pression -

La pression à l'entrée du circuit primaire est de 49 bars et, en cas de dépressurisation accidentelle, le gradient de pression maximum s'établit à environ 1 bar/seconde, ce type d'accident devant être envisagé au moins une fois durant la vie du réacteur.

2-2 - Températures -

On distingue deux régions dans le réacteur, suivant qu'elles sont baignées par l'hélium chaud sortant du coeur ou par l'hélium refroidit après passage dans les générateurs de vapeur et dont les températures respectives sont 330° et 750° et localement 830°. Durant sa vie, le réacteur subira un minimum de 400 cyclages entre sa température de fonctionnement et sa température à l'arrêt, et plusieurs milliers de cycles d'une centaine de degrés d'amplitude durant les variations rapides de charge. Exceptionnellement, le calorifuge devra supporter des températures plus élevées de l'ordre de 1200° pendant une heure environ.

2-3 - Caractéristiques physico-chimiques du milieu -

Le fluide caloporteur est de l'hélium très pur contenant en fonctionnement normal de très faibles quantités d'impuretés dont les pressions partielles sont indiquées ci-dessous en v.p.m.

- Hydrogène (H <sub>2</sub> ) .....	30	v.p.m.
- Hydrocarbure (CH <sub>4</sub> ) .....	1	"
- Oxydants (CO, CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O) .....	≤ 10	"

..//...

Ceci se traduit par une augmentation des coefficients de frottement entre surfaces métalliques et un risque de collage de ces surfaces qui obligent à des traitements de surface coûteux.

#### 2-4 - Environnement acoustique -

L'isolation thermique sera soumise en permanence aux fluctuations de pression engendrées par les singularités de l'écoulement : quelques dizaines de millibars vers les 10 Hz, et aux fluctuations acoustiques à haute fréquence (5000 Hz) d'une amplitude de l'ordre du mbar provoquées par la rotation des soufflantes.

#### 2-5 - Dose -

Pour les parties les plus exposées de l'isolation thermique, la fluence atteindra  $10^{18}$  nvt (neutron d'énergie  $> 1$  meV).

### 3 - QUALITES FONDAMENTALES -

Pour définir les qualités fondamentales de l'isolation thermique, il faut en plus des conditions qui viennent d'être décrites sommairement tenir compte que la durée de vie du réacteur est de quarante ans, que les interventions au niveau de l'isolation thermique seront très difficiles sinon impossibles en raison de l'activité du circuit primaire et de son accessibilité très malaisée et également que les surfaces calorifuges représentant environ  $4300 \text{ m}^2$  dont 1/3 est situé en zone chaude.

On souhaite évidemment que l'isolation soit bon marché, efficace et fiable, qualités qui impliquent les caractéristiques suivantes.

- Conductivité thermique globale faible ce qui affecte directement le coût du calorifuge et aussi celui du caisson qui augmente beaucoup avec son diamètre.
- Perméabilité suffisamment faible pour empêcher les phénomènes de convection naturelle ou forcée, mais qui n'entraîne pas l'arrachement ou l'éclatement du calorifuge dans le cas de dépressurisation rapide, ce dernier point amenant à rejeter tous les matériaux ayant une porosité fermée.

- Une bonne résistance à la corrosion.
- Une bonne résistance aux sollicitations mécaniques résultant des cyclages thermiques et des variations de pression.
- Une bonne stabilité des caractéristiques physiques et mécaniques des produits aux températures de fonctionnement.
- Un bon comportement sous irradiation qui nécessite une grande pureté chimique et l'absence de produits activables ou consommables.

#### 4 - L'ISOLATION THERMIQUE DES REACTEURS DE PUISSANCE -

Le seul réacteur de puissance dont le projet soit suffisamment avancé est celui proposé par GENERAL ATOMIC dans ses versions 2000 et 3000 MWth.

Les zones à calorifuger sont divisées en trois classes : A, B, C (Fig. 2). La classe A correspond aux zones baignées par le gaz à environ 330°C qui sort des soufflantes après passage dans les générateurs de vapeur.

La classe B correspond aux zones baignées par le gaz à la température de sortie moyenne du coeur après mélange, soit environ 750°C.

La classe C correspond aux zones les plus chaudes immédiatement situées sous le coeur et susceptibles de recevoir des jets de gaz chaud à des températures supérieures à 1000°C.

Pour ces trois classes, l'isolation thermique consiste essentiellement en plusieurs nappes de matériaux fibreux maintenues contre les parois à protéger par des structures métalliques [1]. La nature de ces matériaux varie suivant la classe considérée ; il s'agit :

- En classe A, de laine silico alumineuse et d'acier au carbone,
- En classe B, d'une combinaison de laine silico alumineuse et de laine de silice et d'alliage réfractaire pour les structures métalliques.
- En classe C, on retrouve les mêmes matériaux qu'en classe B avec en plus une couche de briques réfractaires en silice alvéolaire fondus disposées du côté chaud.

Le principe du montage est sensiblement le même dans tous les cas (Fig. 3). Les matelas de laine sont comprimés contre la peau d'étanchéité par des plastrons métalliques. Ces plastrons sont maintenus par un plot central qui constitue un point fixe, et par plusieurs plots périphériques (quatre à huit selon les zones). Les plastrons pouvant glisser sous les plots périphériques, les parties métalliques en contact reçoivent un traitement de surface destiné à limiter les coefficients de frottement et éviter le collage des pièces.

Des tôles minces recouvrent les matériaux fibreux au niveau des joints entre plastrons.

Le conduit chaud entre la cavité principale et une cavité de générateur de vapeur constitue un endroit particulièrement délicat en raison des vitesses du gaz et du gradient de pression qui y règne ; il est traité sensiblement comme les surfaces de classe B avec en plus une chemise cylindrique en alliage réfractaire qui recouvre le calorifuge et joue le rôle d'écran thermique.

#### 5 - ETAT DU PROGRAMME C.E.A. DE RECHERCHE ET DE DEVELOPPEMENT -

Le programme de recherche C.E.A. est organisé dans deux directions : il vise d'une part à approfondir les connaissances sur les matériaux susceptibles d'être mis en oeuvre dans les solutions de référence précédemment décrites et à étudier le comportement de ces structures sur des modèles grandeur dans les conditions normales ou accidentelles de fonctionnement ; d'autre part, à étudier et développer des solutions alternatives à celles de référence et qui conduisent à une économie ou une fiabilité accrues.

5-1 - Le premier de ces objectifs fait l'objet d'un programme défini en commun avec GENERAL ATOMIC [2] et qui comporte les thèmes de recherche suivants :

- l'étude de la relaxation à long terme des matériaux fibreux dans les conditions de température et d'atmosphère du réacteur ;
- l'influence des cyclages thermiques sur ces caractéristiques.
- la détermination de la conductivité des matériaux isolants en atmosphère d'hélium dans la gamme 200-1100°C. ;

.../...

- l'étude des caractéristiques de frottement de différents traitements ou revêtements utilisables pour les surfaces plastron/fixation en contact ;
- l'essai de modèles à grande échelle de tuyau chaud (Fig. 3) dans les conditions de pression, température et gradient de pression du réacteur et le comportement de ces structures au cyclage thermique ;
- l'essai de modèles de panneaux calorifuges (de classe A et B) à échelle 1 destinés à vérifier d'une part leur comportement dans des conditions de fonctionnement accidentelles et d'autre part à suivre l'évolution des performances globales de l'isolation à long terme (20.000 heures).

5-2 - Les recherches du C.E.A. pour une solution alternative [3] se sont orientées vers les structures en céramique pleine.

Ce type de solution ne présente pas les inconvénients des solutions employant des matériaux fibreux dont le comportement dans le temps, notamment du point de vue de la relaxation, est mal connu et qui nécessite des structures métalliques particulièrement sensibles aux vibrations et au frottement.

Deux modèles de structures utilisant le Masrock (silice pure à porosité ouverte) ont été étudiés et essayés au cyclage thermique ;

- le premier consiste en un mur plan vertical constitué de briques jointoyées et collées à la peau d'étanchéité au moyen d'un mortier.
- le deuxième consiste en un anneau de céramique précontraint au moyen d'une enveloppe métallique annulaire dans laquelle est injecté un fluide sous pression (Fig. 5).

Les essais ont montré l'excellent comportement au cyclage thermique du Masrock et ses qualités isolantes, mais ils ont aussi souligné les difficultés de mise en oeuvre de ces matériaux et, dans le cas du mur, la nécessité d'interposer un matériau élastique, entre peau d'étanchéité et brique céramique qui soit capable de suivre les mouvements de la peau sans créer de jeu, dans le cas du tuyau chaud la nécessité d'assurer une précontrainte homogène par un système qui soit capable de suivre les variations dimensionnelles du tuyau sans de trop grandes variations de pression.

6 - CONCLUSION -

L'isolation thermique actuelle des R.H.T. fait appel principalement à des matériaux fibreux maintenus par des structures métalliques ; ces solutions sont limitées en température et pour les applications futures ou de plus hautes températures sont envisagées, des solutions céramiques ou associant céramiques et fibres doivent être développées, les efforts devront porter sur la caractérisation des matériaux mais surtout sur les études de conception des structures isolantes et de mise en oeuvre des matériaux.

7 - REFERENCES -

- [1] S.B. HOSEGOOD - H. JONES - The design and development of thermal insulation for high temperature gas cooled reactors -  
A.N.S. Topical Meeting on Gas Cooled Reactors - GATLINBURG, Tennessee - Mai 74 -
- [2] J. CHABOSEAU - A. CHAPELOT - Y. CORNILLE - L. PATARIN - H.T.G.R. Component testing -  
A.N.S. Topical Meeting on Gas Cooled Reactors - GATLINBURG, Tennessee - Mai 74 -
- [3] P. FELTEN - Assemblage et fixation de structures isolantes de céramiques dans les caissons de béton des Réacteurs à Haute Température -  
2<sup>nd</sup> International Conference : Structural Mechanics in reactor technology -  
BERLIN - Septembre 73 -

\*

\*\*



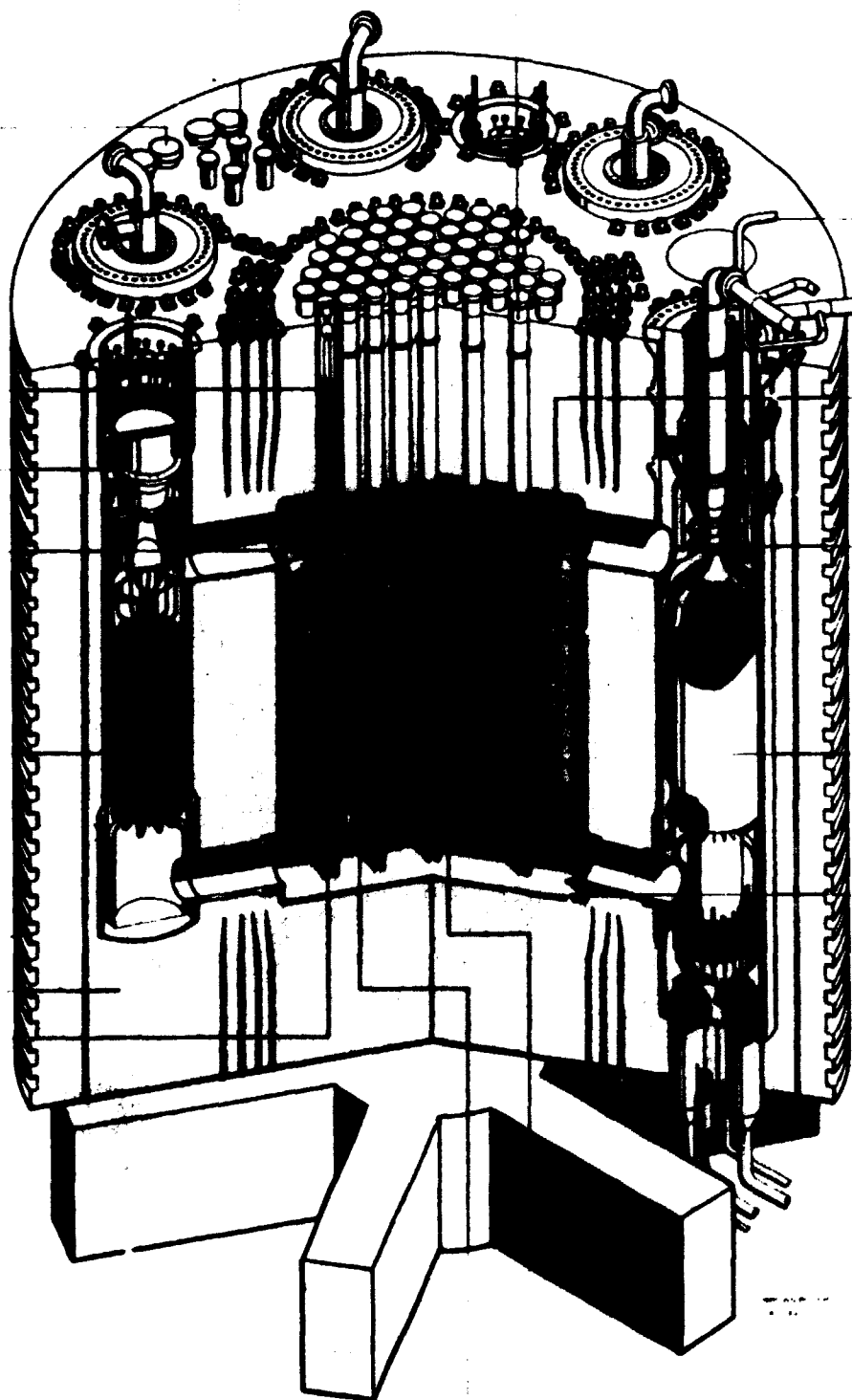
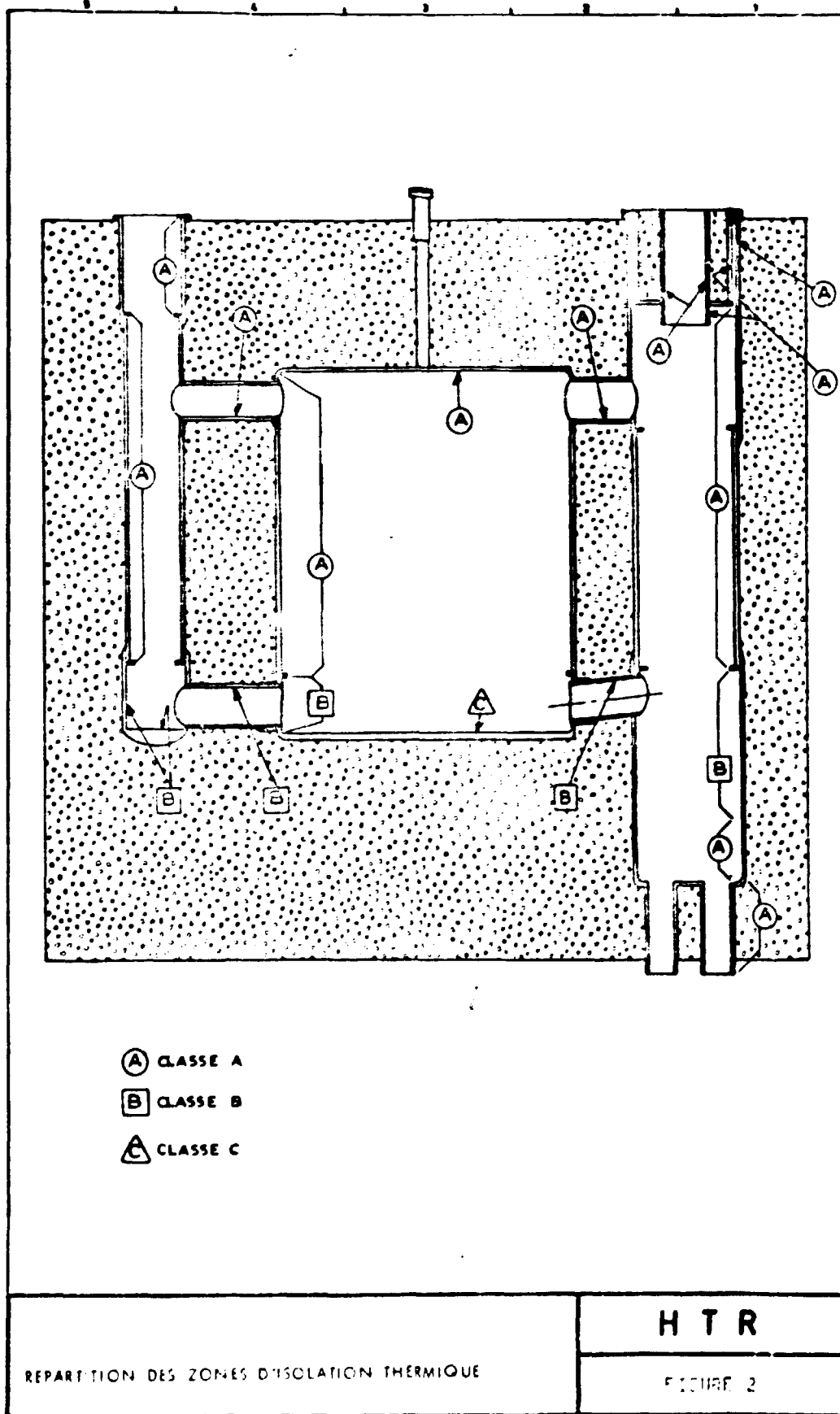


Figure 1 - Réacteur à haute température

- 1 cœur de réacteur
- 2 réflecteur
- 3 support du cœur
- 4 cuve en bétou précontraint
- 5 précontrainte par sections de spiral
- 6 échangeur thermique auxiliaire
- 7 soupape d'étranglement
- 8 soufflant auxiliaire

- 9 barres de commande
- 10 installation de traitement d'acides
- 11 palier de barre de commande
- 12 tube de chargement
- 13 système de protection contre les surpressions de la cuve
- 14 revêtement isolant
- 15 soufflante principale d'acides
- 16 générateur de vapeur
- 17 isolation thermique



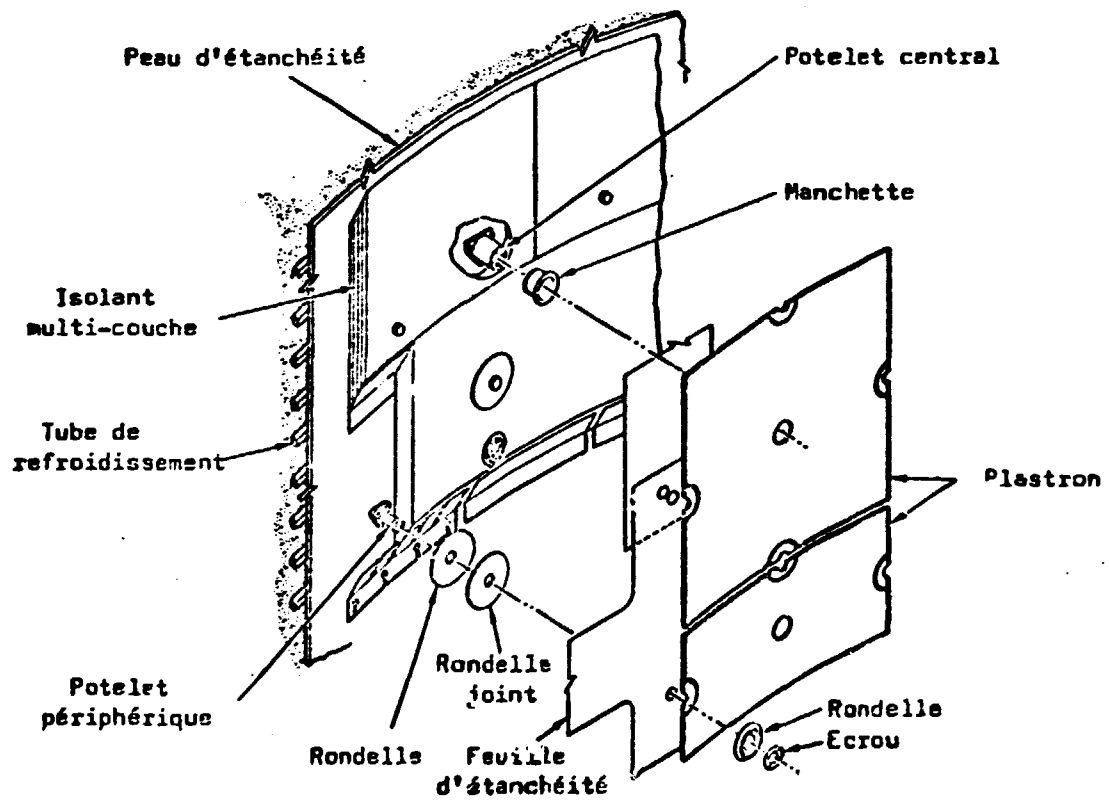


FIGURE 3 - EXEMPLE DE MONTAGE DE L'ISOLATION THERMIQUE



FIGURE 4 - MODÈLE À ÉCHELLE 0,5 DU TIRAGE (CHAUD)

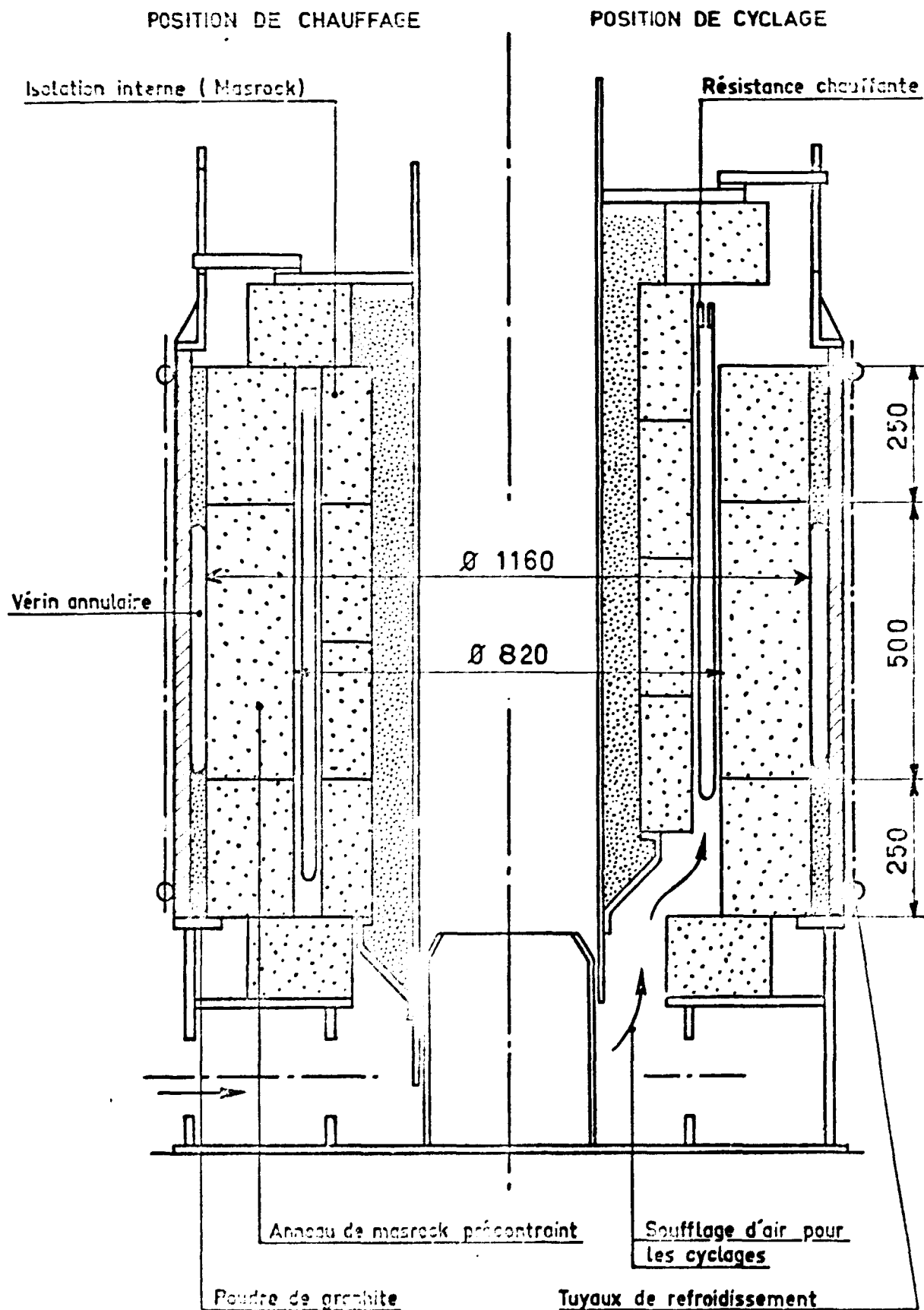


FIGURE 9 - MONTAGE D'ESSAI D'UN TUYAU CHAUD EN MASROCK