

REDUCTION DU RISQUE DE CORROSION SOUS TENSION DANS LES ACIERS AUSTENITIQUES SOUDES

A. Coulon* C. Leymonie** Y. Verdier** and B. Vittemant**

I - INTRODUCTION

Les aciers austénitiques Z 2 CN 18JO servent à la fabrication des tuyauteries de liaison des circuits secondaires de vapeur alimentant les turbo-alternateurs des Centrales PWR -

Les tuyauteries d'un diamètre variant de 870 à 1300 mm sont susceptibles de véhiculer une vapeur très fortement humide, à pression et température élevées, en particulier à la sortie de la partie haute pression, en amont du séparateur-surchauffeur (figure 1) -

Bien que soumise à une spécification sévère, l'eau entraînée dans la vapeur est susceptible de contenir, quoiqu'en teneur extrêmement limitée, des agents corrosifs. Le risque de corrosion sous tension n'est dès lors, pas totalement exclu dans la mesure où d'importantes contraintes de traction peuvent affecter le matériel -

II - PROGRAMME D'ESSAI

Le programme a comporté la réalisation "*vraie grandeur*" de viroles identiques à la réalité -

Puis ont été effectués :

- des mesures de contraintes résiduelles par jauges extensométriques et par radiocristallographie

* RECHERCHES - Turbine à Vapeur ALSTHOM-ATLANTIQUE 90001 BELFORT

** CENTRE D'ETUDES ET RECHERCHES SUR LES MATERIAUX (C.E.R.M.) -
ALSTHOM-ATLANTIQUE 90001 BELFORT

- des essais de corrosion en milieu $MgCl_2$ bouillant
- des traitements de détensionnement des zones où des contraintes de traction ont été mesurées
 - . par shot-peening à la bille d'acier
 - . par pistolet à percussion
- sur les pièces ainsi détensionnées des mesures de contraintes résiduelles ont confirmé l'efficacité totale des moyens utilisés pour le détensionnement.

III - EXPÉRIMENTATION

L'acier 304 L est livré en tôles de 10 mm d'épaisseur, hyper-trempées et planées à froid (skin pass). La dureté à l'état de réception est d'environ 185 HV - 300 N. La fabrication comporte : 1) un envirolage au diamètre 870 mm ; 2) l'exécution des joints longitudinaux ; 3) l'exécution des joints circulaires - les joints longitudinaux des deux demi-viroles sont décalés. Les essais extensométriques ont montré qu'un écartement de 80 mm entre les joints longitudinaux (décalage angulaire d'environ 10°) suffit pour empêcher les interactions entre les champs de contraintes aux noeuds. On a utilisé pour les essais des demi-viroles de 250 mm de longueur.

Les essais ont été effectués : 1) sur des viroles brutes de soudage ; 2) après un traitement de "shot-peening" exécuté par la Société METAL IMPROVEMENT COMPANY (Montargis) * ; 3) après martelage au pistolet à aiguille - Le Tableau I donne les paramètres utilisés pour le shot peening et le martelage.

III.1 Mesure des contraintes résiduelles sur une virole brute de soudage

Dix sept jauges extensométriques à trois directions à 45° (TML type PR 5-11) ont été collées selon le schéma de la Fig.2. La virole a été découpée en deux stades :

- 1) tronçonnage suivant une génératrice située à 70 mm de l'axe des jauges 15-16-17 (soit à 120° de la position des noeuds) pour évaluer les contraintes résultant de l'accostage des lèvres avant soudage des joints longitudinaux
- 2) découpages en carrés d'environ 30 x 30 mm autour de chaque emplacement de jauges

* Grenaille MI 230 inoxydable (diamètre 0,6 mm) ; intensité : 8-12 ALMEN A ; recouvrement : 150 % (contrôle par fluorescence à l'aide du procédé PEENSCAN)

Nous limiterons l'expression des résultats aux contraintes δ_x (longitudinales) et δ_y (circonférentielles) -

- 1) les contraintes dues à l'accostage des bords à souder sont toutes de compression. Dans la direction x , elles varient de 6 à 50 MPa (moyenne : 27 MPa). Dans la direction y , elles varient de 50 à 100 MPa (moyenne : 76 MPa)
- 2) les contraintes totales, résultant de l'envirolage et du soudage sont indiquées sur la Fig.3.

En pleine tôle, c'est-à-dire dans une zone commençant à environ 60 mm du bord des soudures, on se trouve en état de compression suivant x et y . La répartition des contraintes à proximité des soudures est assez complexe. Il est cependant évident qu'à proximité des noeuds on se trouve dans un état de tension biaxiale, avec des contraintes pouvant atteindre 300 - 400 MPa.

On a mesuré une dureté HV 300 N d'environ 200 sur la peau interne de la virole. L'accroissement de dureté par rapport à celle caractérisant les tôles à l'état de réception est due à l'envirolage. A l'aplomb des tores permettant les tensions les plus fortes, HV 300 N est d'environ 230. Les essais de traction montrent que le durcissement observé peut être produit par un écrouissage local de 25-30 % ; dans ces conditions, la limite d'élasticité est d'environ 400 MPa. On retrouve l'ordre de grandeur des contraintes mesurées par extensomètre.

La mesure des contraintes résiduelles par rayon X n'a pu être effectuée sur la virole en raison de la texture prononcée du matériau.

L'existence de tensions au voisinage des soudures a été confirmée par la mise en évidence de fissures de corrosion sous tension dans du chlorure de magnésium bouillant (durée de l'essai : 24 h). La Fig.4 représente le dispositif utilisé. On admet que les fissures se produisent dans les zones où les tensions sont supérieures à 120 MPa. Les Fig. 5 et 6 montrent que les tensions sont bien localisées à proximité des soudures. La limite de production de fissures par la méthode utilisée est située à environ 25 mm du bord des soudures. (Voir aussi Photos 9 et 10).

III-2 Effet du traitement mécanique des soudures

Une virole a été fabriquée comme indiqué plus haut à partir de deux demi-viroles. Les soudures ont été grenouillées par shot-peening ou martelées sur une largeur de 50 mm de part et d'autre du cordon. L'immersion au chlorure de magnésium bouillant pendant 24 h n'a donné naissance à aucune fissure.

Le même résultat a été obtenu après affouillage de fenêtres de 70 x 30 mm sur une profondeur variant de 0 à 2,5 mm à partir de la peau intérieure. On a mesuré sur la peau intérieure des duretés très élevées de l'ordre de 420 HV 1 N correspondant à un écrouissage superficiel bien supérieur à 30 %.

Des jauges extensométriques à trois directions (TML PR 5-17) ont été placées à 40, 60 et 80 mm des axes d'une soudure longitudinale et de la soudure circulaire de la virole traitée par shot-peening. Un échantillon de soudure traitée a de plus été transmis au laboratoire d' ALLIANZ ZENTRUM FUR TECHNIK - (Dr. ELFINGER *) pour mesure des contraintes résiduelles en profondeur par la méthode radiocristallographique.

La Fig. 7 résume les résultats fournis par les rayons X. Jusqu'à une profondeur de 0,3-0,4 mm, on mesure des contraintes de compression.

L'utilisation des rayons X est limitée par l'effet de texture de la tôle mentionné plus haut. Ces mesures ne peuvent être faites ni à une profondeur $> 0,4$ mm, ni au-delà de la limite de la zone grenailée. Inversement, les jauges extensométriques donnent des résultats erronés dans la zone grenailée (perturbation par les contraintes dans les couches sous-jacentes) mais permettent d'étudier la mesure des contraintes au matériau non grenailé, même si celui-ci présente une texture. La Fig. 8 rassemble les résultats obtenus par les deux méthodes.

L'ensemble des résultats montre ainsi que le traitement mécanique des soudures, en produisant des compressions élevées sur une profondeur d'au moins 0,3 mm, rend les assemblages insensibles à la détérioration par corrosion sous tension.

IV - APPLICATION PRATIQUE

L'application des procédés de détensionnement à des viroles de 870 mm de diamètre comportant une soudure circulaire et une soudure longitudinale de 500 mm représente un travail de ;

- 26 minutes pour le shot-peening avec les paramètres suivants :
 \emptyset billes : 0,6 mm, Pression Air : 6 bars - Distance des buses à la pièce : 100 à 150 mm - Angle d'attaque : 80°
- 55 minutes pour le pistolet à percussion: Air 7 bars à 125 l/min - 3500 percussions/min - Intensité Almen: 18 A, recouvrement supérieur à 200 %

Le choix entre les deux procédés dont l'efficacité est voisine réside essentiellement dans leur commodité propre :

- shot-peening en usine de fabrication des viroles (soudures longitudinales)
- pistolet à percussion sur site après soudage des joints circulaires.

* Nous tenons ici à remercier le Laboratoire ALLIANZ à ISMANING (RFA) et le Docteur ELFINGER pour leur efficace collaboration dans la mesure des contraintes résiduelles par radiocristallographie.

Dans l'éventualité d'un emploi d'aiguilles de pistolet à percussion en acier "noir", une décontamination des zones traitées a été jugée opportune.

Références

- ALLIANZ-ZENTRUM FUR TECHNIK GmbH (D^r ELFINGER)
Krausstrasse 14, 8045 ISMANING R.F.A.
- METAL IMPROVEMENT COMPANY Zone Industrielle AMILLY
45200 MONTARGIS F. (*Shot-peening*)
- VON ARX 4450 SISSACH CH (*pistolets à percussion*)

Nous remercions les Ets HOLTZER Représentant VON ARX, 32 route des Romains 67034 STRASBOURG pour leur collaboration.

Paramètre	SHOT-PEENING	PISTOLET à PERCUSSION
Diamètre billes	0,6 mm (Inox)	
Diamètre Aiguilles		4 mm (Acier noir)
Pression Air	6 bars	7 bars
Angle attaque	80°	80°
Distance buse	100 - 150 mm	0
Nombre percussions	-	3500 min
Recouvrement	150 %	200 %
Intensité Almen A	8 - 12 A	18 A
Temps de Traitement	26 min	55 min

TABEAU 1 - Paramètres des Traitements de détensionnement

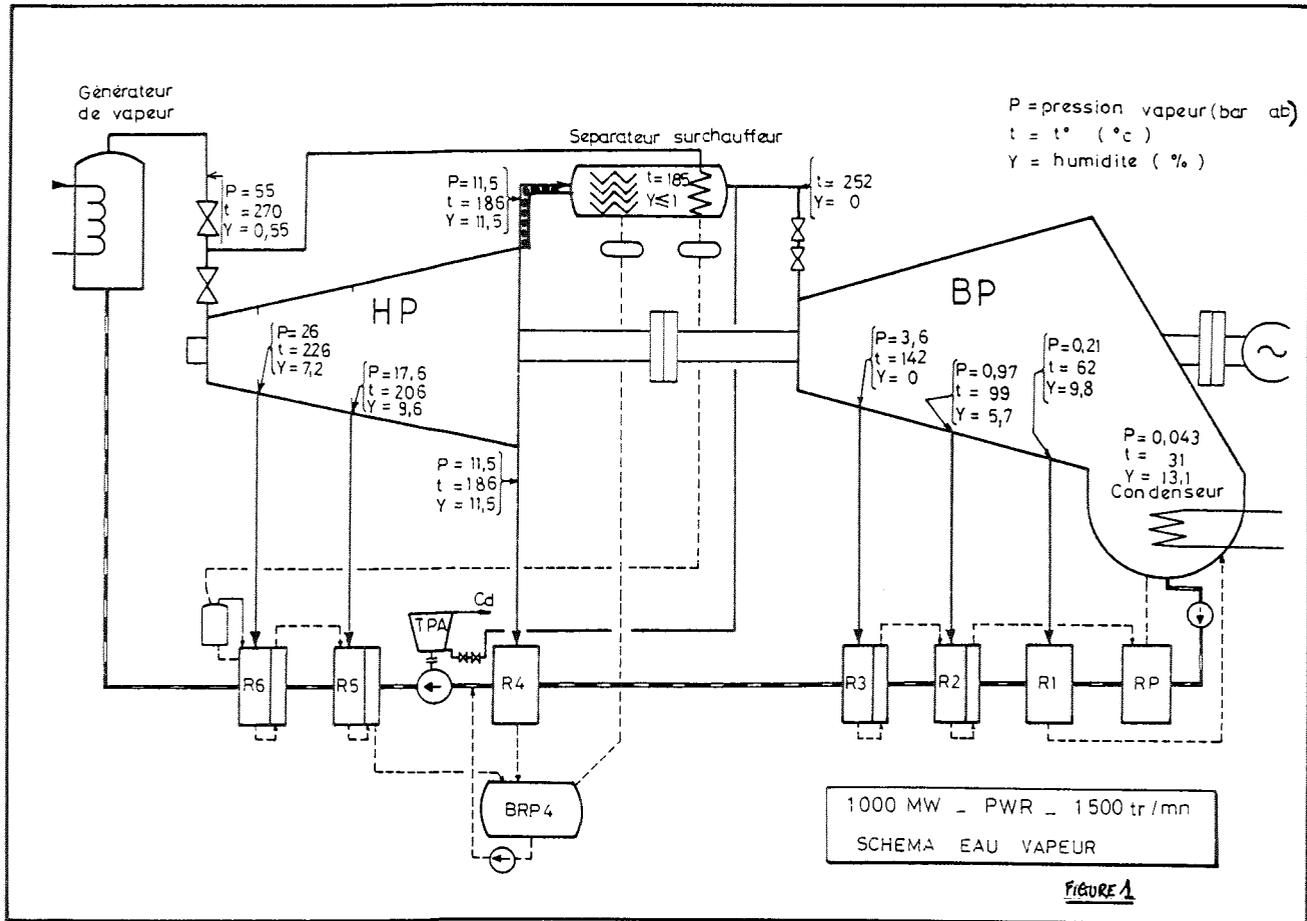


FIGURE 1 - Schéma Eau-Vapeur d'une Centrale 1000 MW PWR

Les tuyauteries concernées se trouvent notamment entre la HP et le Séparateur.

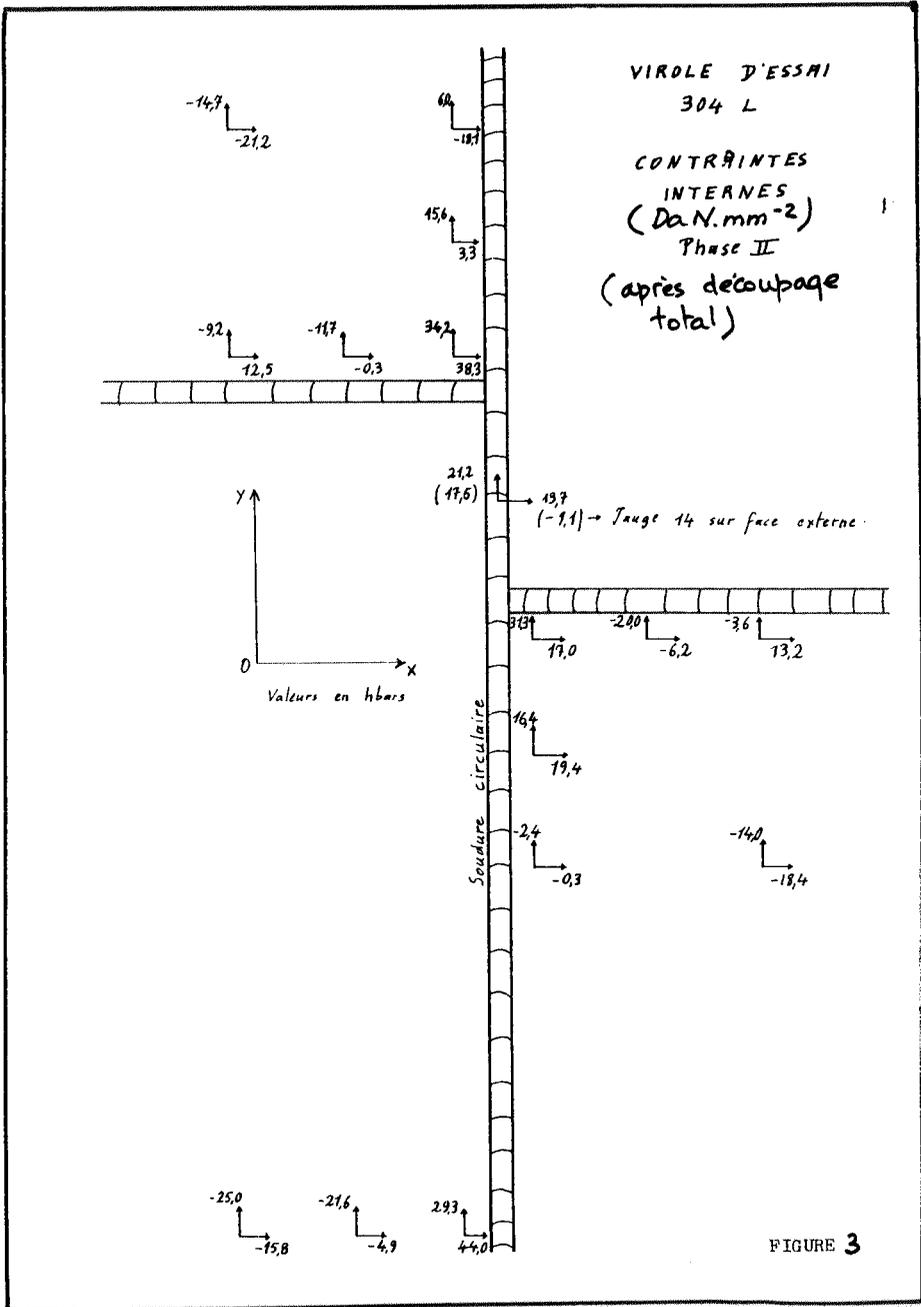
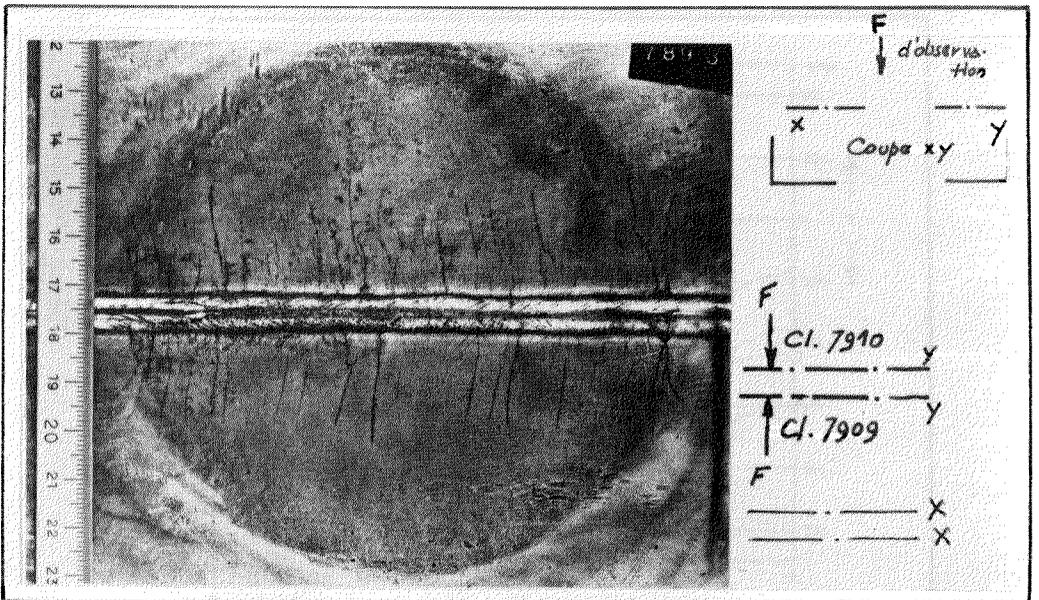
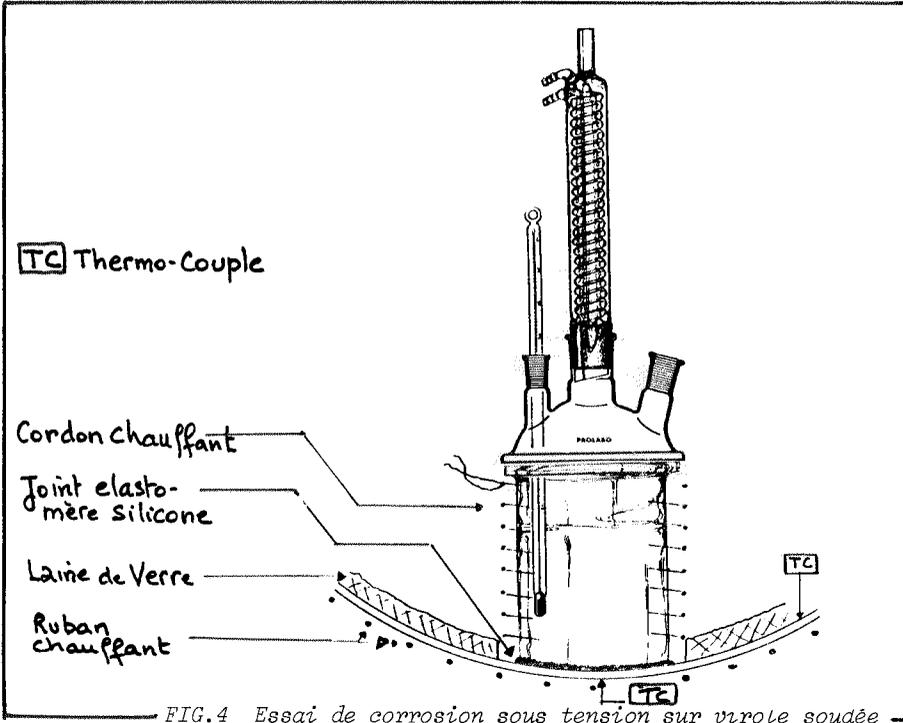


FIG.3 - Contraintes internes mesurées sur une virole brute de soudage



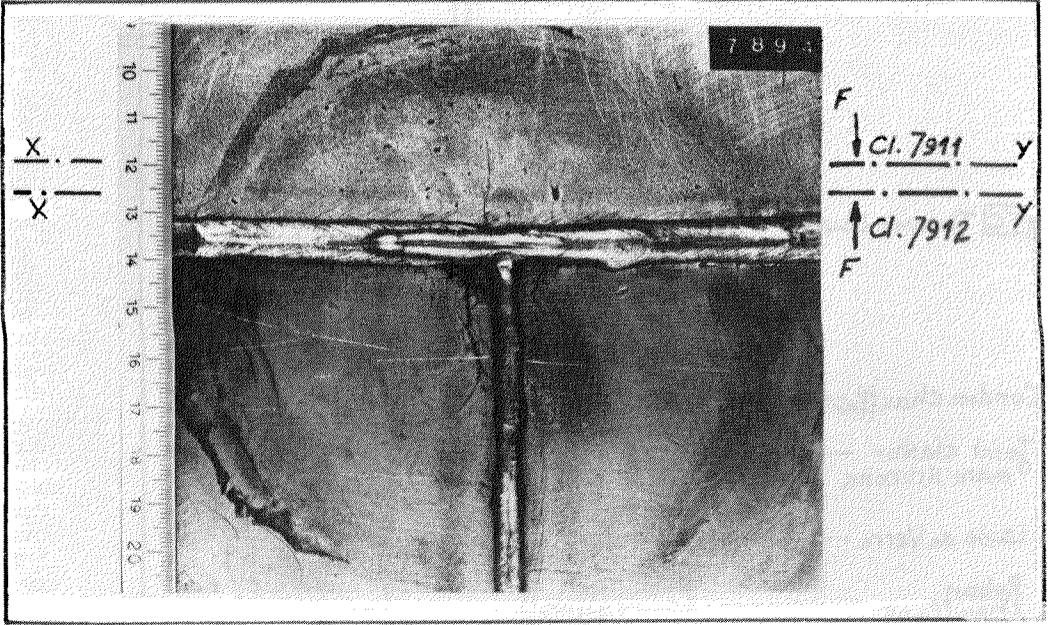


FIG.6 Corrosion sous tension par $MgCl_2$ au voisinage d'un noeud (réduction de 20 %)

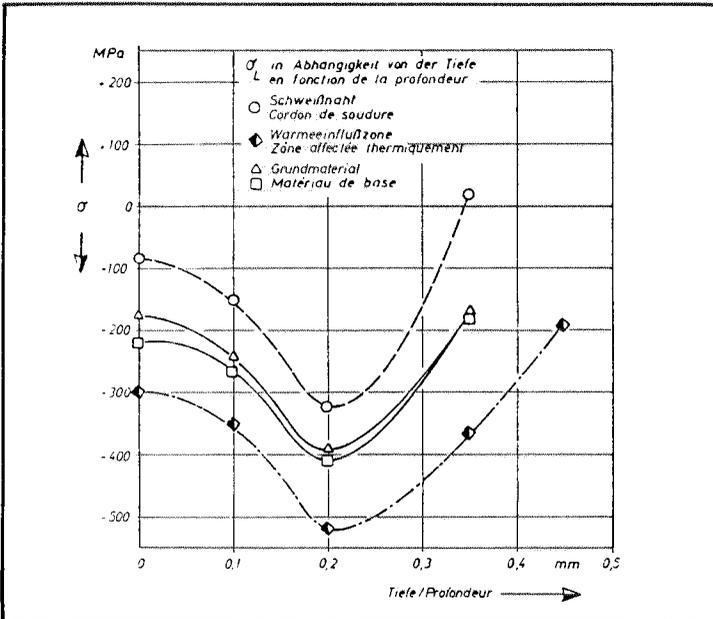
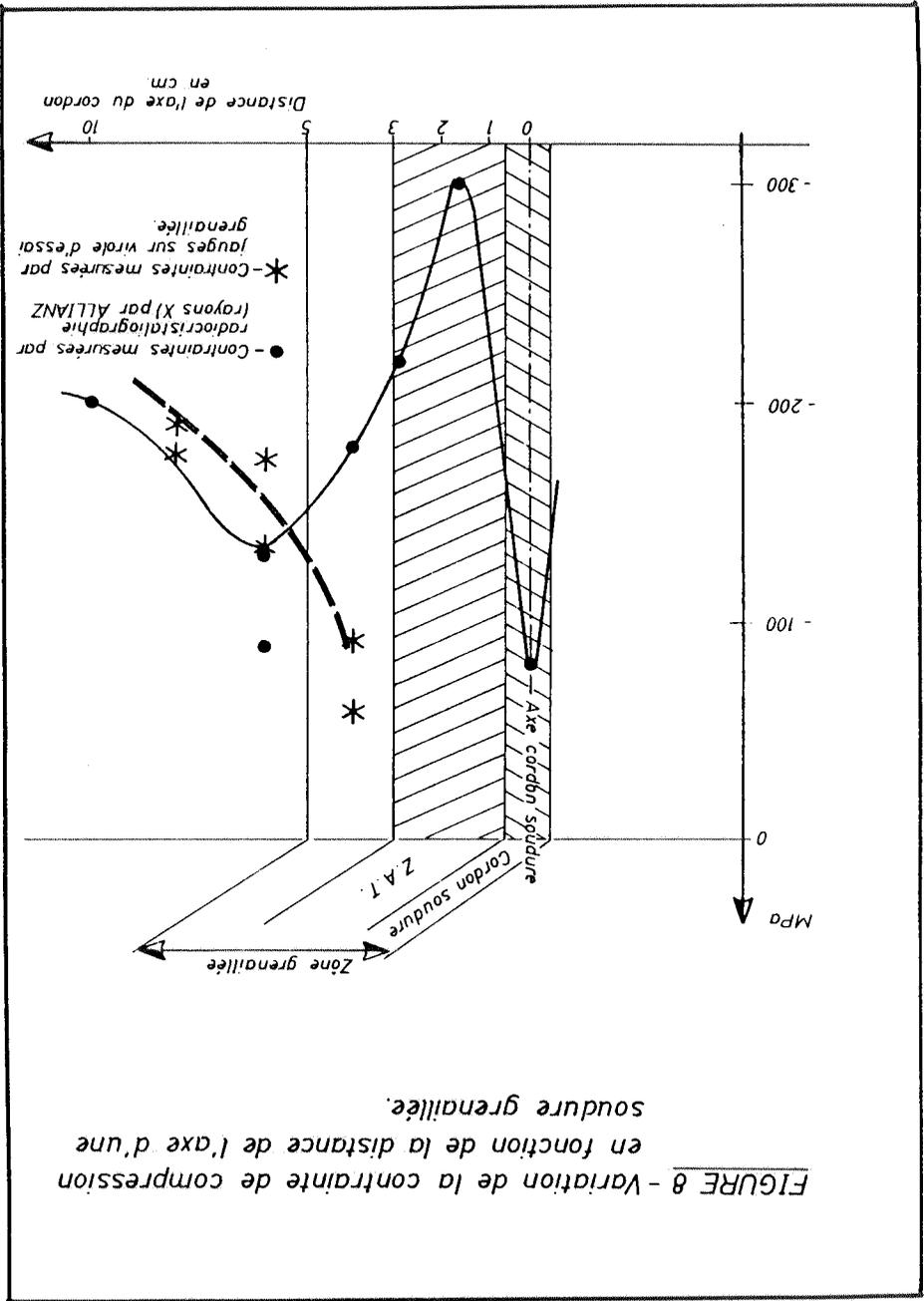


FIG.7 Variation des contraintes résiduelles en profondeur (Dr. ELFINGER, Allianz)



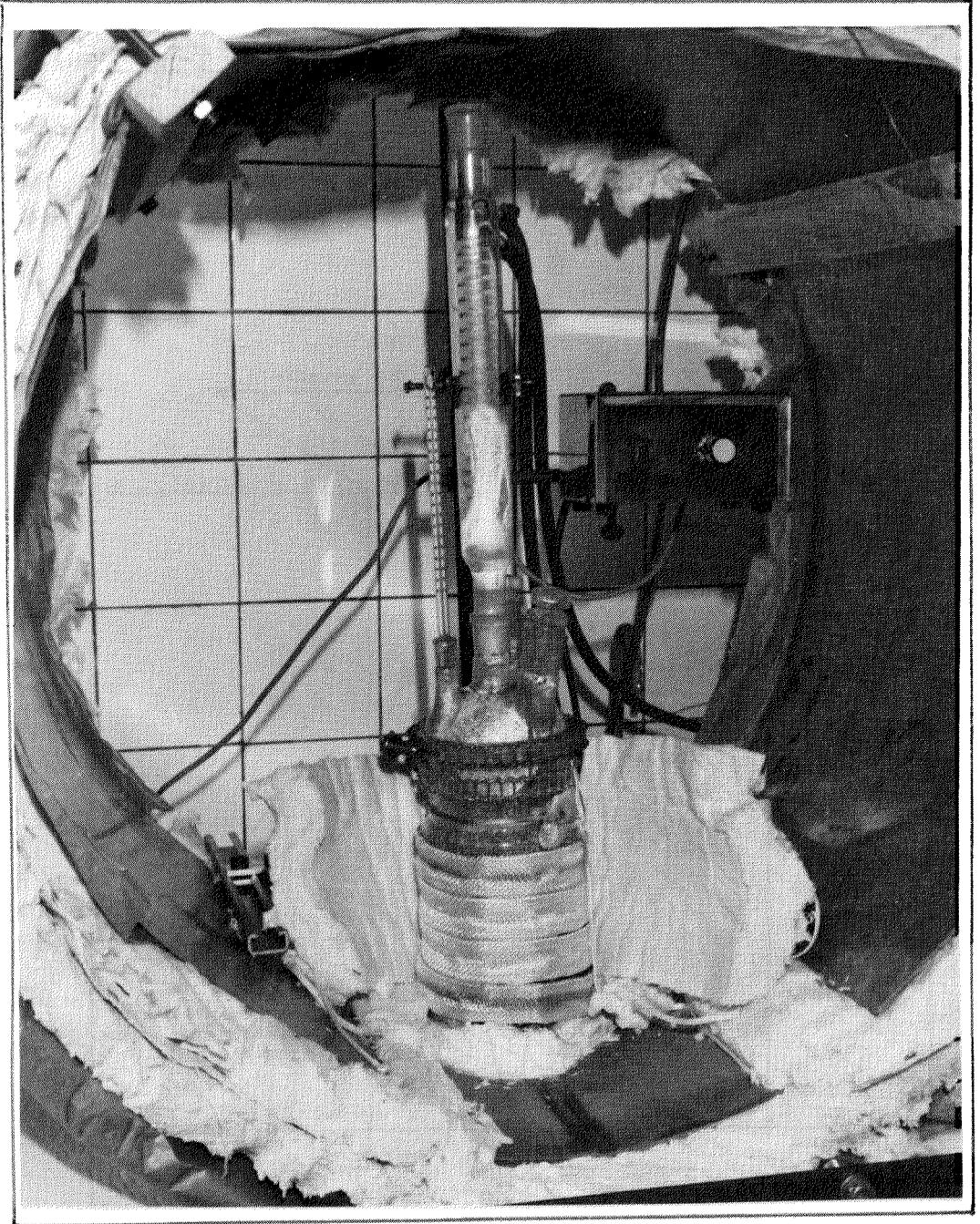


FIG.9 - Test au $Mg Cl_2$ bouillant sur virole soudée en acier Austénitique
Z2CN18-10 (304 L)