

NOTE TECHNIQUE

Contribution à l'étude du brasage des brides
du réseau haute fréquence de bande S,
pour la distribution de puissance
des linacs préinjecteurs du LEP

D. Allard, J.C. Godot, A. Poncet, M. Roch*, B. Trincat

I. Introduction

La distribution de puissance haute fréquence est faite par un réseau de guides d'onde rectangulaires, de $34,04 \pm 0,1 \times 72,14 \pm 0,1$ de dimensions intérieures et de 4,2 mm d'épaisseur, en cuivre à haute conductivité avec 0.1% d'argent. Voir dessin V.W. 31.1209.4B.

Les sections de guide d'onde sont assemblées à l'aide de brides rectangulaires en acier inoxydable (AISI 316LN) à très bas taux d'inclusion. Voir dessin V.W. 31.12402.C 1,2,3).

La plus grande partie de ce réseau doit travailler sous vide $< 10^{-7}$ torr, une autre partie (sas des klystrons) sera presurrisée avec du SF₆ sous 4 kg/cm². L'étanchéité de l'ensemble du réseau doit donc être parfaitement contrôlée.

II. Procédure de brasage des brides

Pour assembler les brides au guide d'onde, le CERN a entre autre essayé une brasure avec l'eutectique Cu Ag (28,5% en poids de cuivre: liquidus 779°C), jeu entre face brasée $\approx 0,02$ à $0,03$ mm. Le CERN est plus spécialement équipé pour ce type de brasures faites dans des fours à vide de grande propreté que pour d'autres types d'assemblage possibles, par exemple à la flamme sous atmosphère d'hydrogène 4). Les brasures à basse température n'ont pas été envisagées dans cette première étude car selon 2) l'état de contrainte entre bride et guide nous a semblé trop élevé pour la résistance mécanique de ces alliages de ductilité limitée. Une autre raison pour n'expérimenter que tardivement ces liaisons est que celles qui nous ont été proposées 5), sont à base d'or (80%) et d'étain et que nous craignons un coût plus élevé.

La brasure avec l'Ag Cu présente deux difficultés importantes:

- 1) Elle ne mouille pas l'acier inoxydable non traité. Il est donc nécessaire de préparer les brides par un nickelage de 3 à 4 μm ou un autre procédé. Notre bride présente une grande surface de résistivité élevée au passage des courants portant l'onde électromagnétique. Pour réduire l'atténuation à moins de 0,002 dB par paire de brides 6) il a été décidé de déposer sur les brides, après le nickel une couche de cuivre de 4 à 6 microns Ainsi la brasure Ag Cu se trouve de part et d'autre en présence de cuivre.

2) Après brasage à 780°C le cuivre se trouve à l'état recuit et le guide n'est plus capable de supporter les pressions de pressurisation et de vide. Un traitement de durcissement à froid doit alors être appliqué, comme expliqué sous III.

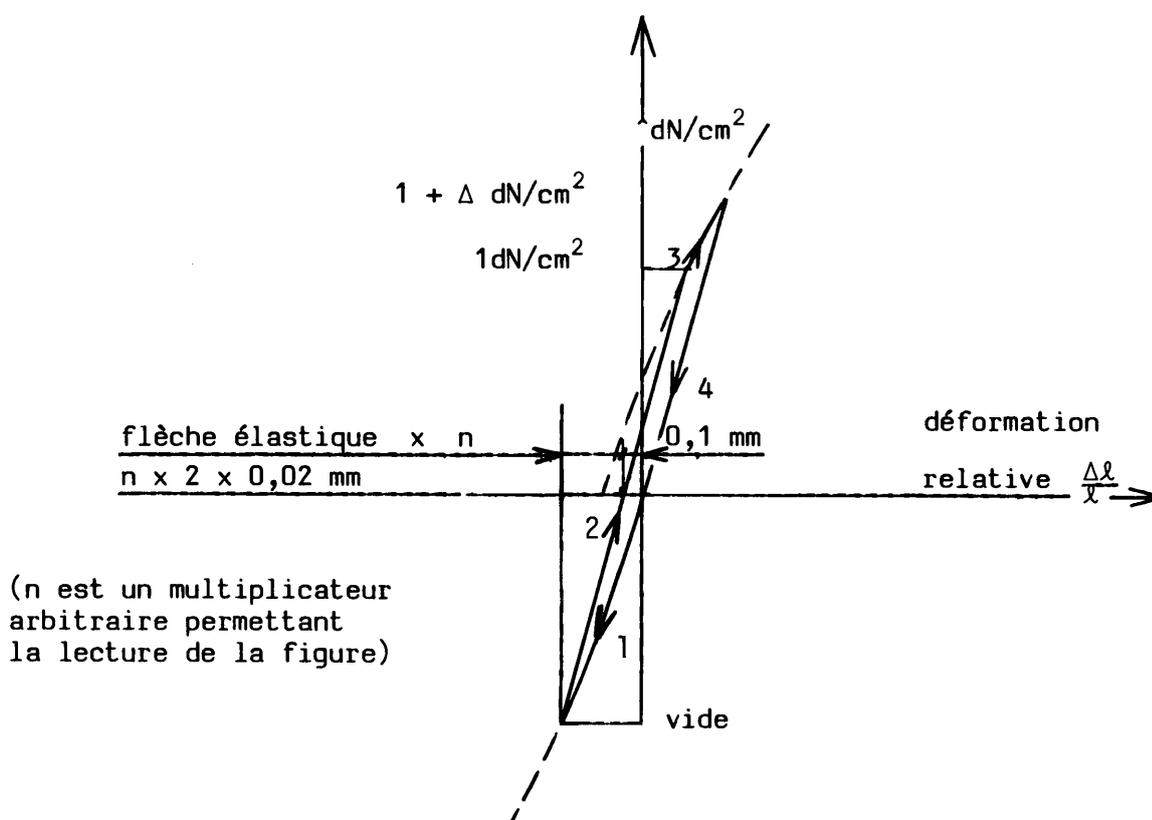
La brasure avec Ag Cu présente par contre les avantages suivants:

- a) La résistance mécanique d'un alliage de cuivre est plus élevée que celle du cuivre pur OFHC du guide. Le collage de cette brasure à l'acier inoxydable nickelé et cuivré est bien connu au CERN. Nous n'avons jamais vu de cas d'arrachement de cette brasure sur l'acier inoxydable.
- b) Le traitement dans les fours à vide à haute température est une procédure usuelle au CERN pour traiter des éléments métalliques devant être exposés au vide 7). Il en résulte une grande propreté de surface qui réduit considérablement les temps d'établissement des basses pressions.

III. Procédé de durcissement du cuivre recuit expérimenté au CERN

Deux sections de guide d'onde de 4 mètres ont été équipées de brides en acier inoxydable par brasage à 780°C avec l'eutectique cuivre argent. A la première mise sous vide les grands côtés du guide d'onde se sont déformés plus au moins régulièrement de 0,1 mm (figure 1). La flèche élastique 2)8) n'étant que de 0,022 mm, le cuivre avait donc subi une déformation plastique.

Figure 1



Cette déformation locale change la phase relative de l'onde électromagnétique, entre les diviseurs 3 dB et les entrées de section. Cette variation est de $\approx 5^\circ/\text{mètre}$ pour 0,1 mm d'enfoncement (9). Cette variation de phase pourrait à la limite être corrigée (10) si nous pouvions garantir une stabilité au cours du vieillissement du réseau. Ce n'est pas le cas car cette déformation n'est pas stable et nous avons pu mesurer un phénomène de fluage dans les jours qui suivaient les premières mises sous vide.

Nous avons d'abord pressurisé le guide jusqu'au retour des dimensions originales, soit de 0,1 + 0,022 mm. Après cette opération le guide était stable et pouvait être pompé sans qu'apparaisse de déformation plastique. En effet, pour revenir aux dimensions originales une pression interne relative légèrement supérieure à 1 dN/cm² avait été nécessaire. La contrainte introduite dans le guide par l'action du vide était inférieure à celle nécessaire pour regonfler le guide et l'équilibre de la section semblait assurée.

Cette solution n'a pas été retenue pour les raisons suivantes:

- A tout moment une sollicitation pouvait venir s'appliquer en plus du vide (par exemple prise à la main).
- Il n'était pas possible d'étuver le guide d'onde. En effet, la température abaisse légèrement la limite élastique des métaux et l'état de durcissement obtenu par regonflage n'aurait plus été suffisant.
- Il est nécessaire de braser de part et d'autre du guide d'onde des tubes thermostatiques. Ces tubes peuvent être collés mais une solution par brasure nous semble plus raisonnable.
- L'équilibre, dimension, pression, température pouvait à tout moment évoluer vers une nouvelle largeur de guide d'onde.

Pour plus de stabilité il a été proposé:

premièrement

Le cuivre OFHC primitivement choisi serait remplacé par du cuivre contenant 0,1% d'argent: OFS. L'argent dans le cuivre retarde la température de recristallisation et ainsi le risque de recuisson du guide pendant par exemple un étuvage ou la réparation d'un tube thermostatique. Au moment de cette décision les guides n'avaient pas encore été étirés chez le fabricant.

deuxièmement (Figure 2)

Avant toute mise sous vide le guide serait d'abord pressurisé à une pression suffisante de 3 dN/cm pour introduire une déformation d'environ 1 mm au diamètre. Avant l'utilisation le guide doit être recalibré en dimension par un moyen mécanique. Cette opération a été faite dans une enceinte de surpression disponible au CERN. Une pression externe de 3,3 dN/cm² a été nécessaire pour ramener le guide à sa valeur de départ. Après le traitement le guide d'onde essayé avait gardé une rectitude correcte (écart < 0,1 mm). Une autre section de guide a, après gonflage à 3 dN/cm², été recalibrée mécaniquement à l'aide d'une presse.

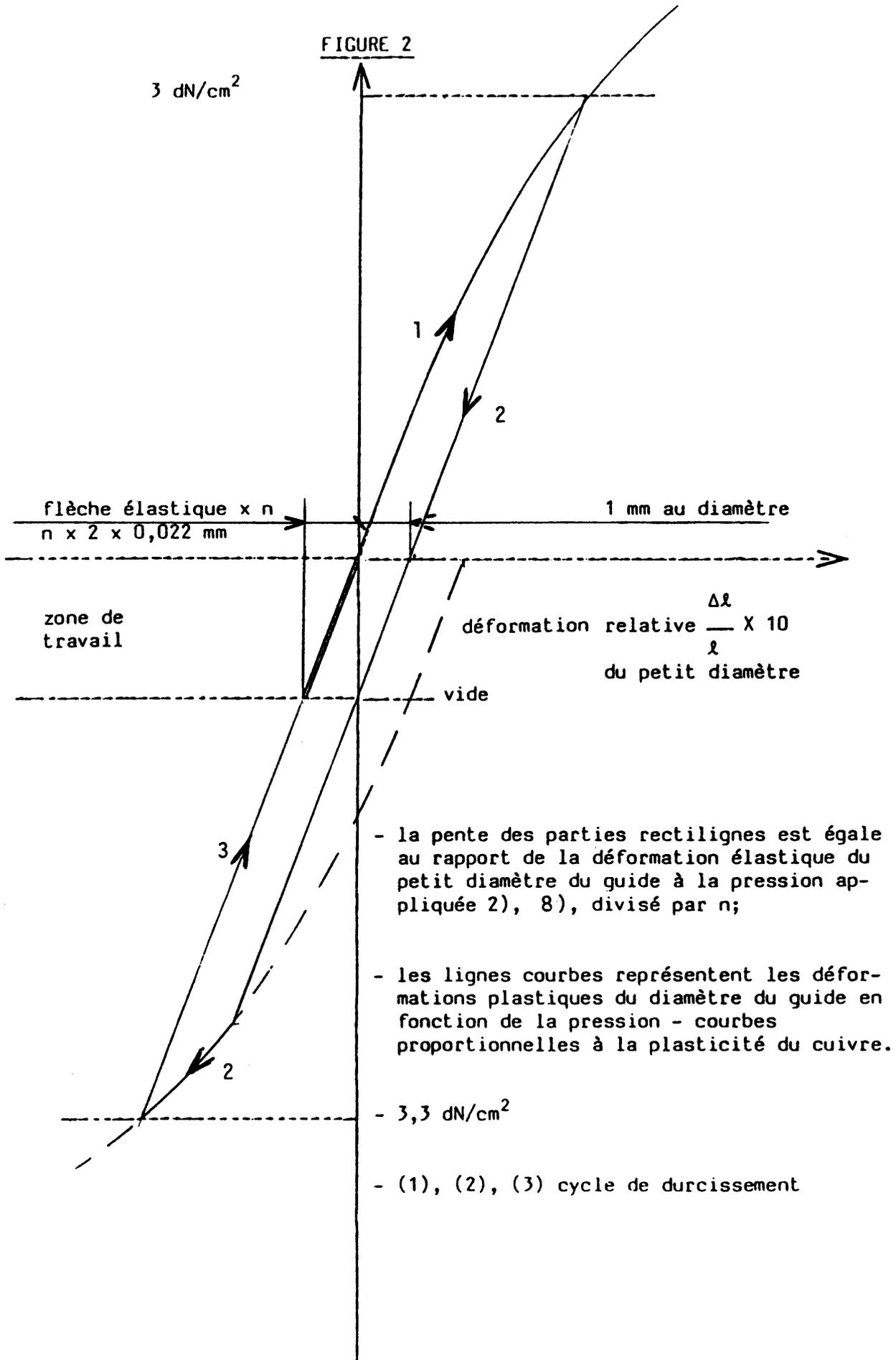
Le guide ainsi traité peut être étuvé à 150°C pendant 48 heures sans problèmes comme l'a montré un test au CERN. Il peut supporter élastiquement des contraintes environ 3 fois plus élevées que celles introduites par la mise sous vide.

Nous pensons qu'un traitement de même nature peut être appliqué aux sections de guide d'onde qui devront travailler en surpression avec 4 daN/cm² de SF₆. L'amplitude de la déformation propre à créer l'écrouissage nécessaire devra être 4 fois plus grande que pour le vide.

En principe, ce traitement de redurcissement du cuivre après le brasage à 780°C devrait pouvoir s'appliquer aussi bien pour des pièces de guide rectilignes que courbes. Cependant, il peut arriver que pour la réalisation d'équipements spéciaux: commutateur HF, circulateur de puissance, il soit nécessaire d'utiliser des pièces de cuivre plus grandes ou plus minces. Dans ce cas, la brasure d'une plaque d'acier inoxydable ou de laiton de forme convenable ne peut pas être exclue. Une autre possibilité en étude est la brasure aux températures inférieures à 400°C (température de recristallisation de cuivre OFS). Dans ce dernier cas, les formes des pièces mécaniques doivent être étudiées pour ne pas trop solliciter mécaniquement ces alliages moins résistants que le cuivre. Des soudures par bombardement électronique ont aussi été utilisées.

4. Références

- 1) M. Roch, Tests d'étanchéité et de fiabilité d'un jeu de brides HF étanches au vide, LAL/PI 82-76/I - 16.9.82
- 2) J.C. Godot, Contribution à l'étude de l'assemblage par brasure des guides d'onde et des brides de la distribution H.F. du LIL, 9.2.84.
- 3) P. Brunet, Y. Dabin, M. Roch, J.C. Godot, Note sur la réunion tenue au LAL le 23 février 1984, 27.2.84.
- 4) The Stanford two-mile accelerator, page 355, 1968, W.A. Benjamin, Inc.
- 5) Comptoir Lyon-Alemand-Louyot, 13 rue de Montmorrency, Paris 3e
- 6) D. McIntosh, Test 18.4.84.
- 7) M.H. Achard, R. Calder and A. Mathewson, The effect of bakeout temperature on the electron and ion induced gas desorption coefficient of some technological materials, Vacuum, Volume 29, number 2, page 53.
- 8) M. Roch, Mesures de déformation sous pression de guides d'ondes, LAL/PI 82-37/T.
- 9) D. McIntosh, Communication privée.
- 10) A. Fiebig, Communication privée.



Toutes ces mesures ont été faites avec du cuivre OFHC sans argent.