

INT 177/92

JANVIER 1992

VIS DE FIXATION DES TUILES DE  
PROTECTION  
(TCV.02.03)

R. Chavan

## VIS DE FIXATION DES TUILES DE PROTECTION (TCV.02.03)

Rapport en 10 pages / R. Chavan / CRPP / 28.1.1992

La paroi protectrice intérieure du tore (first wall protection) est constituée de "tuiles" en graphite (carbone polycristallin à grain fin), fixées par des vis inbus à tête conique. Pour des raisons de physique du bord du plasma (contamination) et à cause des températures très élevées que peuvent atteindre les pièces limitant le plasma, le carbone est le matériau présentant les meilleures caractéristiques thermiques et chimiques.

Contrairement au divers alliages métalliques compatibles avec les conditions de fonctionnement de TCV, par ex. NIMONIC 90 (alliage Ni/Cr/Co) avec  $12,7 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{K}$ , le graphite (EK 9863 RINGSORFF) a un coefficient de dilatation thermique de seulement  $4,5 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{K}$  et le CFC (carbon fibres / carbon, CFC CC 1001 GR SIGRI) de  $-0,3$  à  $4 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{K}$ , selon l'orientation  $\parallel$  ou  $\perp$  des fibres par rapport à la mesure. Cette propriété divergente entre matériaux pose un problème d'assemblage mécanique de composants carbone / métal. Dans le cas des vis fixant les tuiles l'allongement différentiel d'une vis NIMONIC sur tuile graphite est de  $40 \mu\text{m}$  environ à  $400^{\circ}\text{C}$  sur une longueur de 12 mm. Pour une vis CFC par contre cette valeur sera proche de zéro, ou même négative.

Afin de prévenir l'apparition d'un jeu entre la vis et la tuile à température élevée, il est nécessaire d'introduire soit une précontrainte assez élevée tenant compte d'un tassement éventuel du graphite, soit un élément de compensation tel qu'un ressort dans le cas d'une vis métallique. Aussi faudrait-il protéger la face exposée de la vis par brazage d'une plaquette de graphite. L'intercalage d'une feuille de "papier graphite" améliore le contact entre la tuile et le rail en acier et introduit une très légère élasticité dans l'assemblage. La forte adhésion du "papier graphite" à l'acier et son déchirement lors du retrait de la tuile sont des inconvénients majeurs.

Le choix de vis CFC permet l'élimination de ce type d'éléments et du problème de précontrainte (= 0). Cependant la résistance mécanique d'une vis CFC avec filetage métrique ISO est très réduite. Les essais de traction démontrent que le critère de rupture est celui de la résistance au cisaillement  $\parallel$  au fibres, contrainte à laquelle est soumise le filet de la vis. A noter qu'aucun fabricant ne donne des valeurs garanties quant à la résistance de vis en CFC.

En **conclusion**, calcul et mesure expérimentale indiquent que

- a) *une vis CFC présente une résistance apparente 35 fois inférieure à celle d'une vis métallique à dimensions égales (M8)*
- b) *une vis CFC ne peut servir qu'en tant qu'élément de positionnement, sans transmission de force ni de précontrainte*
- c) *le CFC étant fragile, une vis CFC ne doit pas être réutilisée*
- d) *la longueur de vissage dans la contre-pièce doit être maximale*

Dans le cas d'application des tuiles avec vis CFC, les conditions b) et d) ne sont pas respectées, et l'assemblage ne répond pas à la capacité de charge exigée.

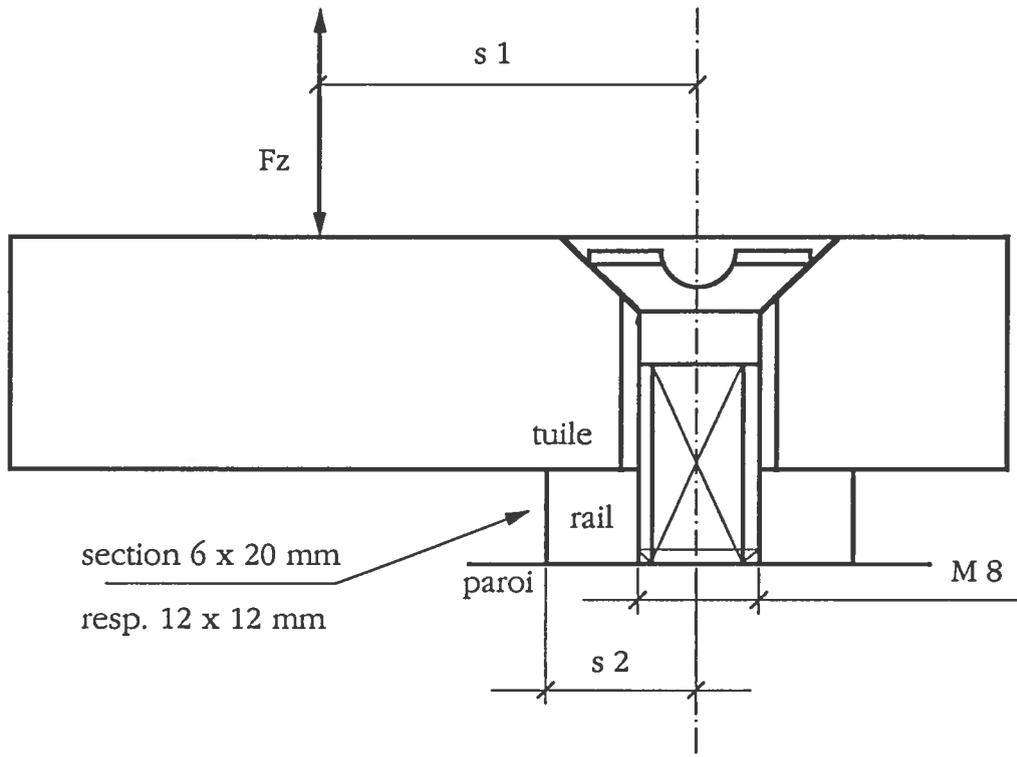
Voici la **proposition**

- a) *remplacer les vis CFC par des vis en NIMONIC (ou molybdène ?) de dimensions identiques et tête inbus, ev. avec zone de traction pour une meilleure élasticité longitudinale (perçage), avec couple de serrage défini ( $\rightarrow p. 10$ )*
- b) *en cas de nécessité, agrandir les perçages coniques dans les tuiles de façon à avoir la possibilité de protéger par des rondelles en graphite la tête de vis*

Cette proposition est soutenue par l'observation pratique que le type de serrage décrit est réalisable. Le serrage d'une vis métallique peut se faire en fonction du couple appliqué sur 1/8 à 1/16 ième de tour, ce qui correspond à une "précontrainte" de 160 à 80  $\mu\text{m}$ . Même après vissage et serrage multiple, aucun tassement n'est observable. Ceci reste encore à vérifier dans des cycles de chauffage à haute température sous vide ...

### 1) Calcul de la résistance à la traction probable d'une vis CFC

Voici le schéma d'un assemblage tuile / vis / rail / paroi.



La force résultante  $F_z$  agissant perpendiculairement à une tuile dans des conditions de disruption de plasma est estimée à 2000 N. La force de traction sur la vis  $F_v = F_z \cdot s_1 / s_2$  avec  $s_1 \approx 60$  et  $s_2 = 6$  mm, donc  $F_v \approx 20'000$  N.

En tenant compte des facteurs de réduction sur la longueur de vis, tels que le chanfrein de la vis de  $1,2 \times 45^\circ$  et du taraudage  $\sim 0,7 \times 45^\circ$ , il reste une longueur de vis efficace de  $l = 6 - (1,2 + 0,7) = 4,1$  mm. Théoriquement le nombre de filets portants est alors de  $l / p = 3,3$ .

La section effectivement soumise au cisaillement est de (voir feuille "filetage métrique ISO")  $= l/p \cdot 0,93750 \cdot \pi \cdot 6,64684 = 64,21143$  mm<sup>2</sup>. De plus, le fraisage pour un meilleur dégazage entraîne une perte de section de 25 %  $\rightarrow = 48,15857$  mm<sup>2</sup>.

Avec une résistance au cisaillement de  $\tau = 13 \cdot 10^6$  Pa (voir tableau des caractéristiques des matériaux), on trouve la résistance du filet par  $F_f = 13 \cdot 10^6 \cdot 48,15857 \cdot 10^{-6} = 626$  N, soit 191 N par filet portant ( $/ 3,3$ ).

La résistance effective à la traction d'une vis CFC dans les conditions de montage TCV n'est que de  $F_f = 573$  à  $763$  N (avec 3 à 4 filets portants).

## 2) Mesure expérimentale de la résistance à la traction et à l'arrachement de vis CFC

Afin de déterminer la résistance effective de vis CFC selon dessin TCV 02.03.100-103, 4 échantillons de vis M8 x 25 mm ont été fabriqués en version 103, 2 en CC 1001G\* (\* qualité commandée chez RINGSDORFF/SIGRI) et 2 en CC 1501G. Ces qualités de CFC se distinguent au niveau de l'arrangement des fibres dans les couches.

En ce qui concerne la conception de la vis, il a été tenu compte de l'anisotropie structurale du matériau renforcé par fibres orientées, afin d'utiliser aux mieux les caractéristiques mécaniques. L'orientation des couches de fibres est telle qu'un minimum de fibres est tranché lors de l'usinage, la face fraisée pour faciliter le dégazage est  $\parallel$  et la fente pour le tourne-vis est  $\perp$  aux fibres.

Par numérotation des vis de I à IV l'identification est simplifiée par la suite.

no.	mat.	remarques sur l'état initial
I	CFC CC 1001 G	vis ok, filetage sur 2 coins légèrement endommagé
II	CFC CC 1001 G	vis ok
III	CFC CC 1501 G	vis ok, légère cassure sur tête de vis, filetage rugueux $\parallel$ fibres
IV	CFC CC 1501 G	vis ok, importante cassure sur tête de vis, filetage rugueux $\parallel$ fibres

Les essais de traction ont eu lieu le 28.1.1992 au Département des Matériaux, laboratoire de métallurgie mécanique, à l'EPFL, sur une machine de traction AMSLER 52/82 (AMSLER AG, Schaffhausen) équipée d'une avance hydraulique et d'un dispositif de traçage à tambour. Dans la pince supérieure est tenu le support TCV 02.03.125/126 avec la vis CFC, dans la pince inférieure une tige taraudée M8 de  $\varnothing$  18 x 200. Ainsi les vis sont soumises à une force de traction simple, en principe sans composante latérale grâce à une fixation des supports de traction flottants. La longueur de vissage vérifiée par mesure après montage était de 6 mm, ce qui correspond à l'assemblage avec les rails de fixation dans le tore.

Contrairement aux conditions réelles de fonctionnement, soit sous vide ou plasma d'hydrogène, les essais de traction ont été effectués dans des conditions de propreté raisonnables, à température ambiante en atmosphère normale. Les vis n'ont pas été traitées préalablement, ni thermiquement, ni par dégazage, et sont utilisées dans l'état de livraison.

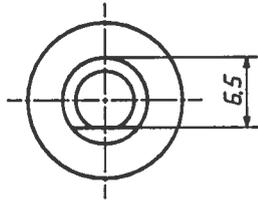
La défaillance des vis était sans exception due à la rupture des filets par cisaillement. Les vis présentent des filetages différents dans la mesure où l'hélice a été usinée dans des positions angulaires aléatoires par rapport à la face de dégazage fraisée, d'où une différence apparente du nombre de filets cisailés, et par conséquent de la résistance à la traction de chaque vis. A noter que les filets cisailés sont transformés en poussière de graphite / carbone très fine.

Il n'y a aucune déformation plastique, l'allongement élastique relatif peut être estimé à 3 % (voir les diagrammes de traction).

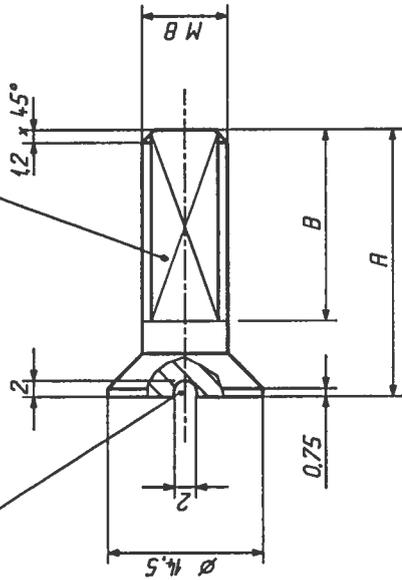
no.	commentaire
I	Cisaillement filet à <b>1010 N</b> Rupture nette, env. 4 filets portants
II	Cisaillement filet à <b>850 N</b> Rupture successive observable par "sauts de force", env. 3 filets portants

- III | Cisaillement filet à **610 N**  
Rupture successive observable par "sauts de force", env. 3 filets portants
- IV | Cisaillement filet à **1020 N**  
Rupture nette, env. 4 filets portants

Material Type Price TCV 02.03.103	SIGRI CC 1001 GR DM 21.-	SCHUNK CF 222 DM 27.50	CARBONE- LORRAINE A053 CFC ~ FF 94.-	RINGSDORF V 1288 CC 1001 GR ~ DM 21
E-Modulus    [GPa]	35 - 40	70 - 90	15	35
Tensile strength    [MPa]	85 - 105	180 - 240	50	90
Tensile strength    [MPa]	10 - 15		10	
Flexural strength [MPa]	135 - 150	180 - 240	80	140
Shear strength $\tau$    [MPa]	(13)	8 - 12	30	13
Torsional strength [MPa]		20 - 25		
Compressive strength   , $\perp$ [MPa]			120	
$\alpha$    $10^{-6}$ [ $\frac{1}{^\circ\text{C}}$ ]	- 0.3	0.8	1.0	
$\alpha$ $\perp$ [ $\frac{1}{^\circ\text{C}}$ ]	4.0	6.9	6.0	
$\lambda$    [ $\frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}$ ]	9.2	60 - 80	70	
$\lambda$ $\perp$ [ $\frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}$ ]	4.2	15 - 25	15	
Fibres and Volume fraction [%]	random in layers (Filz)	Cloth 55 - 65	Filz random	Fibre Pile Fabric
Resistivity $\cdot 10^{-6}$ [ $\Omega \cdot \text{m}$ ]	25 - 30	20 - 25	25	25
Ash content [ppm]	150	$\leq 10$ $\leq 100$	500	< 100
Heat treatment [ $^\circ\text{C}$ ]	2000	2000		
Porosity [%]	18	5 - 8		25
Density $10^3$ [ $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ]	1.35 - 1.4	1.6 - 1.7		1.35
Strain to failure [%]		0.3 - 0.4		



Schlitz parallel Schichttrichtung Flaeche parallel Schichttrichtung



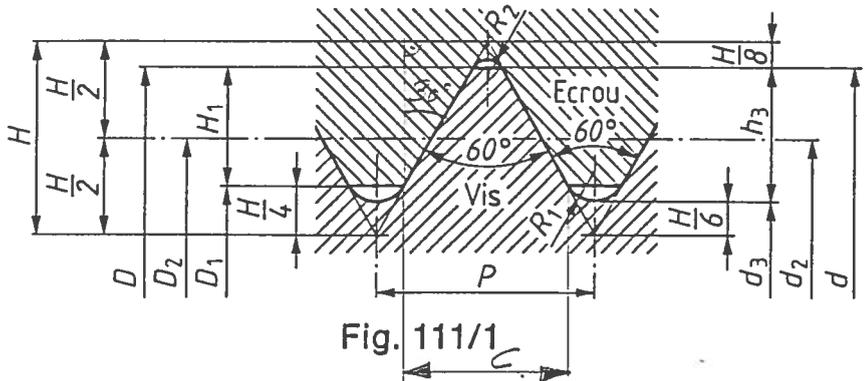
	A	B
TCV02.03.100.0	18	11
TCV02.03.101.0	20	13
TCV02.03.102.0	22	15
TCV02.03.103.0	25	18

80	Vis M 8 x 25	403	Carbone	TCV02.03.103.0		
500	Vis M 8 x 22	402	Carbone	TCV02.03.102.0		
800	Vis M 8 x 20	401	Carbone	TCV02.03.101.0		
265	Vis M 8 x 18	400	Carbone	TCV02.03.100.0		
Pieces	Description	Pos.	Matiere	Model	Remarques	
Modifications :						
VIS M 8				Pour fabrication :	Nom	Date
TCV . TORE				Echelle	Nom	Date
				2 : 1	ABurn	7.11.91
					Contrôle	
PHYSIQUE DES PLASMAS				TCV02.03.103.0		
Ecole Polytechnique Federale Lausanne						

### 3.5 Genres de filetages

#### 3.5.1 Filetage métrique ISO (VSM 12022)

(Profil: VSM 12020, vue d'ensemble: VSM 12021)



$D_2, d_2 = \text{diamètre sur flancs}$   
 $D_2 = d_2 = d - 0,64952 P$   
 $D_1 = d - 1,08253 P = 6,64684$   
 $d_3 = d - 1,22687 P$   
 $H = 0,86603 P = 1,08254$   
 $H_1 = 0,54127 P = 0,67659$   
 $h_3 = 0,61343 P$   
 $R_1 = 0,14434 P$   
 $R_2 = 0,07217 P$   
 $C = 2 \cdot \frac{3}{4} H \cdot \tan 30 = 0,93750$

Désignation d'un filetage métrique ISO d'un diamètre nominal  $d = 5 \text{ mm}$ :  
**M 5**

Tableau 111/1 Filetage métrique ISO

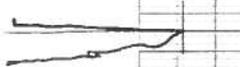
Dimensions en mm

Diamètre nominal $d = D$	Pas $P$	Diamètre sur flancs $d_2 = D_2$	Diamètre du noyau		Section résistante de la vis $A_s$ (1) $\text{mm}^2$
			Vis $d_3$	Ecrou $D_1$	
M 1	0,25	0,838	0,693	0,729	0,460
M 1,2	0,25	1,038	0,893	0,929	0,732
M 1,6	0,35	1,373	1,171	1,221	1,27
M 2	0,4	1,740	1,509	1,567	2,07
M 2,5	0,45	2,208	1,948	2,013	3,39
M 3	0,5	2,675	2,387	2,459	5,03
M 4	0,7	3,545	3,141	3,242	8,78
M 5	0,8	4,480	4,019	4,134	14,2
M 6	1	5,350	4,773	4,917	20,1
M 8	1,25	7,188	6,466	6,647	36,6
M 10	1,5	9,026	8,160	8,376	58,0
M 12	1,75	10,863	9,853	10,106	84,3
M 16	2	14,701	13,546	13,835	157
M 20	2,5	18,376	16,933	17,294	245
M 24	3	22,051	20,319	20,752	353
M 30	3,5	27,727	25,706	26,211	561
M 36	4	33,402	31,093	31,670	817
M 42	4,5	39,077	36,479	37,129	1120
M 48	5	44,752	41,866	42,587	1470

1) La section résistante est calculée suivant la formule  $A_s = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d_2 + d_3}{2}\right)^2$ .  
 La charge de rupture de la vis est égale à celle d'une tige lisse de diamètre  $\frac{d_2 + d_3}{2}$ .  
 Avant-trou de taraudage = Diamètre nominal du filetage moins le pas (VSM 34212).



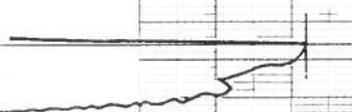
IV  $F = 1020 \text{ [N]}$



III  $F = 610 \text{ [N]}$

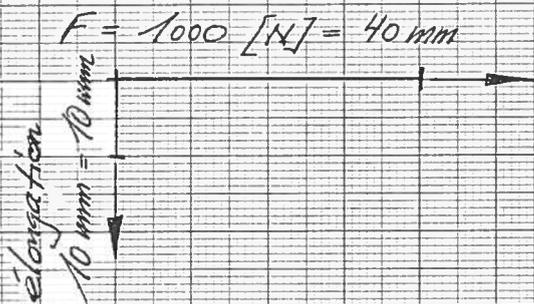


II  $F = 850 \text{ [N]}$



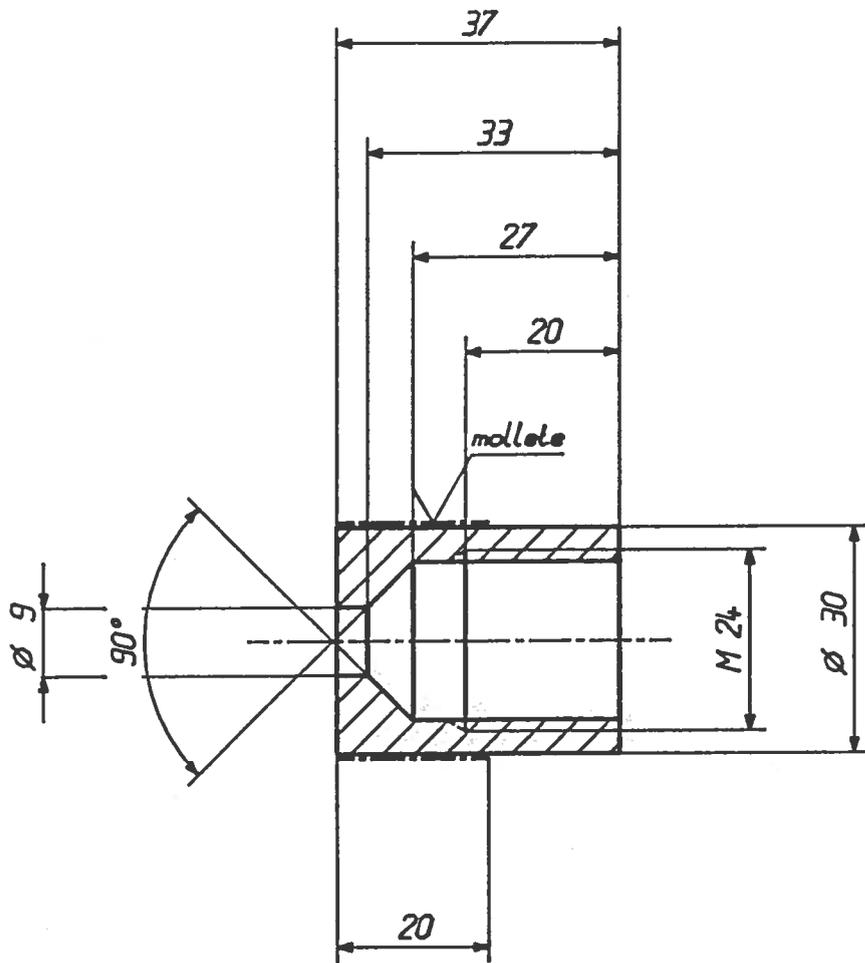
I  $F = 1010 \text{ [N]}$

Scaling:



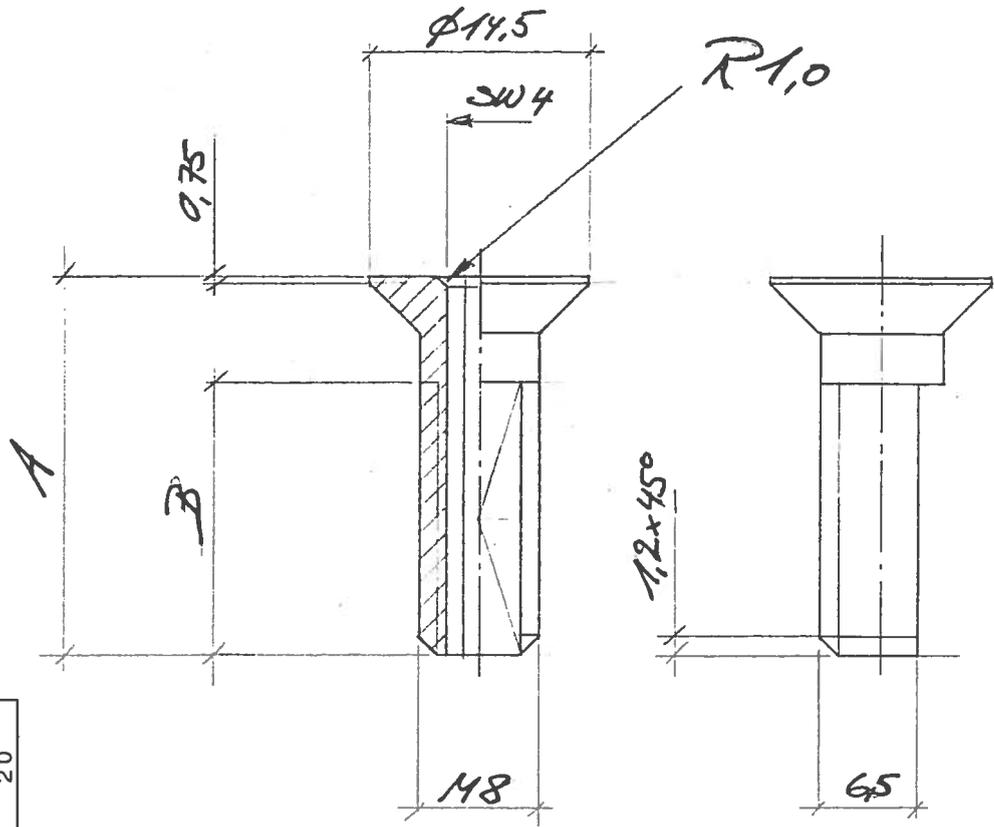
Traction resistance test on  
graphite screws TCV 02. 03. 103

(Amster 52/82)  
 $T_a = 18^\circ\text{C}$

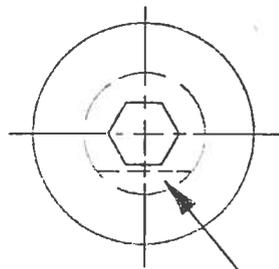


1	Rond $\varnothing$ 30 x 37	1	Inox		
Pieces	Designation	Pos.	Matiere	Model	Remarques
	Modifications :			Pour fabrication :	Nom Date
	DOUILLE ESSAI  TCV - TUILE			Echelle 1 : 1	Nom Date
				Dessine Contrôle	R.Chavan 20.12.91
	PHYSIQUE DES PLASMAS Ecole Polytechnique Federale Lausanne			TCV02.03.125.0	





		sans jeu jusqu'à 400 °C			
		force de serrage N	couple de serrage Nm	angle de serrage [°]	
A	B				
TCV 02.03.100.0	18	11	8900	16	14
TCV 02.03.101.0	20	13	7000	12	14
TCV 02.03.102.0	22	15	8100	14	20
TCV 02.03.103.0	25	18	6500	11	20



Rem.:  
Index  
⬡ // to face

gen. tol.  
DIN m

Nbr. de pièces		Spécification	Rep.	Matière	Observations
II	I	Modifications: <i>Nimonic 80A</i> [ = 2,4631 DIN = UNS N07080 = ASTM B 637 ]			
		<i>Vis M8 de remplacement</i>			Echelle <i>2:1</i>
		<b>PHYSIQUE DES PLASMAS</b> Ecole Polytechnique Fédérale Lausanne			Remplacé par ..... Remplace e.v. .... Dessiné <i>Charan 3.2.94</i> Contrôlé Vu
					<i>TCV 02.03.103.0</i>