

# Guide de câblage du cryostat à dilution

Félix Piédallu

Juin 2015

## Table des matières

<b>1 Câbles coaxiaux</b>	<b>2</b>
1.1 Guide de fabrication des câbles . . . . .	2
1.2 Thermalisation des câbles RF . . . . .	4
<b>2 Lignes DC</b>	<b>6</b>
2.1 Soudure des prises uD . . . . .	6
2.2 Connexion avec la canne . . . . .	6
2.3 Tresse . . . . .	6
2.4 Thermalisation . . . . .	6
2.4.1 Presse de thermalisation . . . . .	6
2.4.2 Boîtier de thermalisation . . . . .	6
<b>3 Boîtier de filtrage</b>	<b>6</b>
3.1 Connexions du bloc . . . . .	6
3.2 Compartimentage du bloc . . . . .	7
3.3 Câblage du bloc . . . . .	7
3.4 Préparation de l'Écosorb . . . . .	7
<b>4 Câblage du porte-échantillon (commun RF et DC)</b>	<b>7</b>
4.1 Cylindre support du porte-échantillon . . . . .	7
<b>5 Bill of Materials complète</b>	<b>7</b>
5.1 Vis . . . . .	7
5.2 Prises . . . . .	7
<b>6 Caractérisation des câbles au VNA</b>	<b>8</b>
6.1 Création de la nouvelle trace . . . . .	8
6.2 Paramètres du VNA . . . . .	8
6.3 Calibration du VNA . . . . .	8
6.4 Lancement d'une mesure . . . . .	8
6.5 Enregistrement d'une mesure . . . . .	8
<b>7 Tables de câblage</b>	<b>8</b>
7.0.1 Câbles en manganin . . . . .	8
7.0.2 Câbles bleus blindés (tresse) . . . . .	10
7.0.3 Boîtier de filtrage . . . . .	10

# 1 Câbles coaxiaux

## 1.1 Guide de fabrication des câbles

Les câbles RF coaxiaux sont assez fragiles. Il faut faire attention à ne pas les tordre. Notamment, il faut utiliser la clé dynamométrique pour visser les prises.

Voici une liste des étapes à suivre pour fabriquer un câble coaxial connectorisé.

Le plus optimal est de connectoriser une extrémité du câble, le cintrer puis prendre les mesures exactes afin de couper précisément le câble et connectoriser l'autre extrémité.

Il faut nettoyer le bout après chaque étape de limage/coupe avec de l'air sec.

Ici on détaille pour un connecteur mâle, mais les étapes sont les mêmes pour un connecteur femelle.

**Dénudage** Il faut dénuder quelques millimètres du câble pour souder la pin sur l'âme du câble coaxial. On utilisera le support **21B** ainsi que la petite scie. Il faut aller doucement sans appuyer, jusqu'à ce qu'on sente que c'est "lisse".

Ensuite, il faut retirer la gaine avec un scalpel et limer pour retirer les restes d'isolant et pour adoucir les angles.



FIGURE 1 – Dénudage d'un câble coaxial

**Soudure de la pin centrale** On fixe la pin sur l'âme du câble, puis on serre le tout en place avec la pièce **W60**.

Pour souder il suffit de chauffer l'extérieur de la pin tout en positionnant le fil d'étain sur le trou sur le bord de la pin. On fixe une broche sur l'âme du câble, puis on serre le tout en place.

Pour prévoir la dilatation du diélectrique lors de la soudure, on place une petite entretoise **W56** juste avant la broche.

**Soudure de la prise extérieure** On fixe sur la prise mâle une prise femelle factice **W14M (81)** qui permet de positionner à la distance correcte la prise mâle. Celle-ci comporte la partie mobile avec le pas de vis.

Le plus efficace est de faire un tortillon d'étain au-dessus de la prise, que l'on chauffe. En étant un peu patient l'étain va fondre et rentrer naturellement dans la prise.



FIGURE 2 – Pin centrale soudée sur le câble

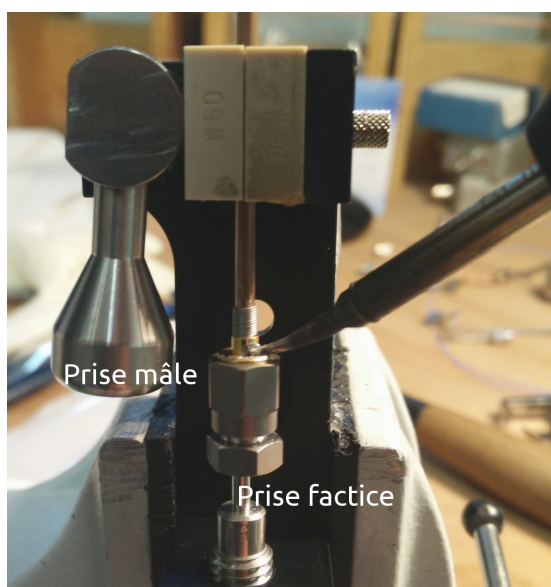


FIGURE 3 – Soudure de la prise extérieure

**Fixation de l'isolant** La dernière étape est de mettre un petit cylindre diélectrique entre la prise et la broche.

On utilise alors la pièce creuse et son "burin" associé **W52 (W53)** que l'on serre à la clé dynamométrique dans le connecteur pour enfoncer le diélectrique. On place l'isolant à l'intérieur, et on pousse d'un coup avec le "burin".

**Cintrage des câbles coaxiaux** Comme évoqué plus haut, les câbles doivent être cintrés entre chaque étage du cryostat. Néanmoins la fragilité des câbles nous impose de respecter un rayon de courbure minimal de 9mm.

Une cintrreuse "sur mesure" permet de cintrer les câble correctement.

On utilise la cintrreuse. Pour chaque câble il faut faire un "U" pour éviter les interférences d'un étage à l'autre, et pour avoir une certaine souplesse du câble.

Pour faire :

- 1/4 tour : il faut 15mm de câble
- 1/2 tour : il faut 29mm

Un cintrage en "U" nécessite alors 35mm de câble de plus qu'un câble droit.



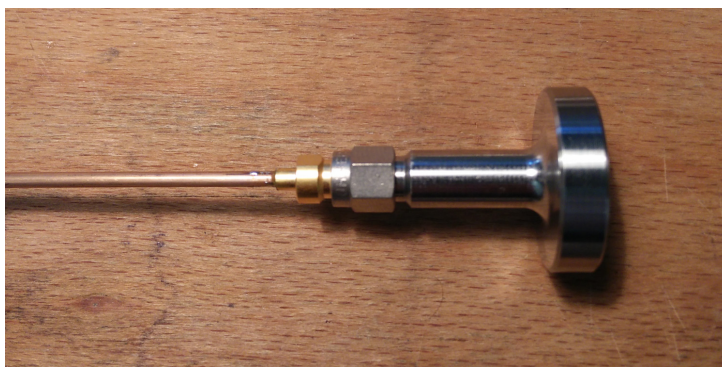


FIGURE 4 – Fixation de l'isolant

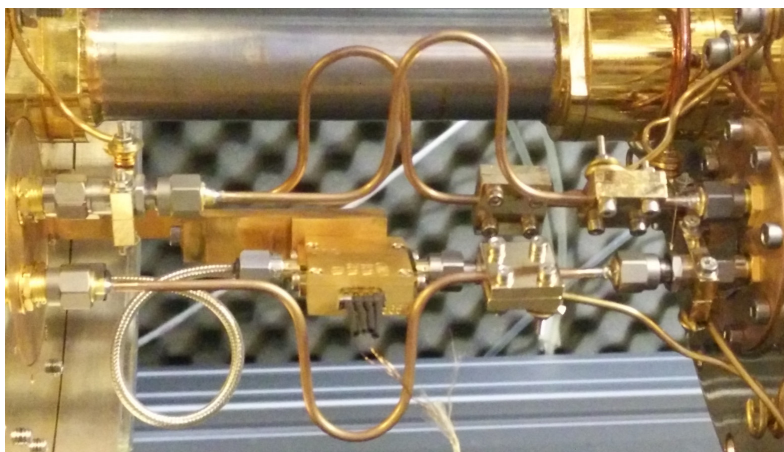
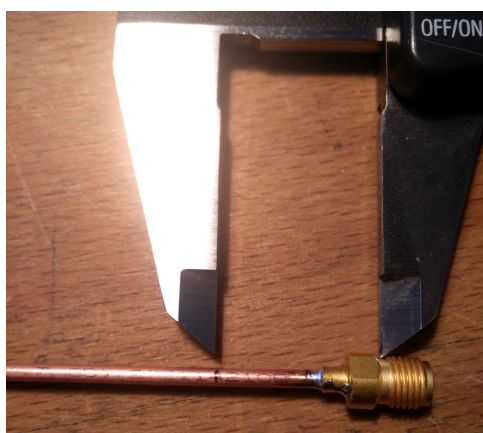


FIGURE 5 – Câbles coaxiaux cintrés en "U" et connectés

**Mesure du câble nécessaire** Après avoir connectorisé une extrémité du câble, il faut mesurer précisément la longueur de câble nécessaire. Il faut alors prendre en compte la longueur de câble qui se trouve dans le connecteur (sinon, il manquera quelques millimètres).



## 1.2 Thermalisation des câbles RF

Les câbles coaxiaux doivent être thermalisés à chaque étage du cryostat par les pinces dorées (sur les câbles *et* sur les atténuateurs), reliées par des câbles de cuivre jusqu'aux platines du cryostat.

Les câbles RF se thermalisent grâce aux pinces dorées . On utilise l'Apiezon N pour avoir un bon contact thermique avec la pince, en comblant les pores des parois en contact.

Une des vis de chaque pince permet de fixer un fil de cuivre doré (elle est donc plus longue que les autres).

**Sur câble RG405 :** 3 vis 10mm + 1 vis 16mm

**Sur atténuateur :** 1 vis 16mm + 1 vis 2mm

## 2 Lignes DC

Les lignes DC sont connectées par des prises  $\mu D$ , à part au passage câbles bleus  $\rightarrow$  Manganin.  
On utilise les 17 lignes intérieures, c'est-à-dire pas les 4 coins de la prise.

### 2.1 Soudure des prises $\mu D$

Les prises  $\mu D$  sont assez fragiles, il ne faut pas appuyer trop sur les pins avec le fer, au risque de les casser (rattrapable mais pas très pratique). La technique est de remplir la pin d'étain, puis de glisser le fil dedans sans avoir à apporter d'étain.

Il est préférable de mettre une gaine thermorétractable à une soudure sur deux (j'ai aussi mis de la grosse gaine thermo pour isoler les deux lignes).

### 2.2 Connexion avec la canne

On utilise une prise  $\mu D$  (vis maison) que l'on fixe sur le bouchon de la canne. Faire attention au sens de branchement, en fonction de l'aménagement du cryostat (normalement un trait au feutre noir indique le sens).

### 2.3 Tresse

Entre le boîtier de thermalisation et de filtrage, les câbles sont blindés par une tresse d'aluminium. Il est préférable de faire passer les câbles une fois qu'une prise  $\mu D$  est soudée.

### 2.4 Thermalisation

#### 2.4.1 Presse de thermalisation

À l'étage 100mK, on thermalise les câbles de manganin à l'aide de la (double) presse dorée.  
On colle le tout à l'aide de Stycast

**Résine** Stycast (Emerson & Cuming) 1kg

**Durcisseur** Stycast (Emerson & Cuming) 12g

Il faut utiliser 8% de durcisseur dans le mélange.

#### 2.4.2 Boîtier de thermalisation

Voilà.

## 3 Boîtier de filtrage

**B.o.M :**

- 10  $\times$  Vis M2
- 2  $\times$  Prises  $\mu D$  femelle
- 4  $\times$  Vis M1 + écrou + 2 rondelles (pour les prises)
- $\times$

### 3.1 Connexions du bloc

Le bloc est connecté grâce à des prises  $\mu D$ . Les vis d'entrée sont "maison", les vis de sortie sont des vis Allen 2.5mm.

### 3.2 Compartimentage du bloc

Afin de filtrer les micro-ondes des lignes DC, nous faisons passer les 17 câbles par un boîtier rempli d'Écosorb.

Malheureusement, l'Écosorb peut abîmer les soudures et les câbles au bout de quelques cycles de refroidissement. Nous avons donc décidé de compartimenter ce boîtier pour protéger les connexions.

Des pièces en PLA vont alors être imprimées. Elles ont été dessinées grâce à OpenSCAD et converties au format STL. On peut trouver tout ça sur mon dépôt Git.

### 3.3 Câblage du bloc

On utilise 17 câbles bleus de 80cm. Ces câbles sont entortillés autour d'une chute de câble coaxial. On les passe alors d'abord dans les pièces en PLA puis on les soude sur les prises  $\mu D$ .

### 3.4 Préparation de l'Écosorb

**Résine** Eccosorb (Emerson & Cuming) CRS 117 PTA 1kg

**Durcisseur** Eccosorb (Emerson & Cuming) CRS PTB 12g

Il faut utiliser 1,18% de durcisseur dans le mélange.

Ici on a mélangé 2,5g de catalyseur pour 212g de pâte. Il faut d'abord bien homogénéiser la résine (A) avant de mélanger au durcisseur (B).

Le mélange sèche en quelques jours. Il faut donc faire attention à poser le bloc bien à l'horizontale (en pensant aux prises).

## 4 Câblage du porte-échantillon (commun RF et DC)

**B.o.M :**

- 0  $\times$  Vis M2
- 1  $\times$  Prise  $\mu D$  mâle
- 17  $\times$  Barette de connexion

### 4.1 Cylindre support du porte-échantillon

Ce cylindre est assez fragile, il faut donc faire attention à ne pas le tordre.

Les lignes DC arrivent du bloc de filtrage (section ??) par une prise  $\mu D$  mâle. Le boîtier cylindrique et son couvercle (à fixer après la prise...) sont vissés par des vis M2. Ces lignes sont connectées par des barrettes au porte-échantillon.

Les lignes RF arrivent par les trous sur la partie supérieure du tube. On place des afin de relier les câbles semi-flexibles aux câbles du porte-échantillon. Un câble est semi-flexible tandis que les 3 autres sont flexibles (pour faciliter le branchement).

## 5 Bill of Materials complète

### 5.1 Vis

**Vis M2** (10mm, 16mm, 20mm) <http://www.conrad.fr/ce/fr/overview/2304110/Vis-metriques;jsessionid=282D3A035F0B5C93D0FC843A18512CE3.ASTPCEN21?filterCatégorie=vis+cylindrique&filterNorme=DIN+%28vis%29=DIN+912&filterTaille+du+filetage=M2&filterPropriétés+du+matériau=A4&sort=Title-asc>

### 5.2 Prises

**Prises  $\mu D$**  4 mâles + 4 femelles

## 6 Caractérisation des câbles au VNA

Il faut enfin caractériser les câbles coaxiaux fabriqués au VNA afin :

- de vérifier qu'ils n'ont pas été abîmés (mal cintrés)
- d'avoir les valeurs exactes d'atténuation des câbles à la fréquence de mesure, afin d'avoir une mesure la plus précise possible.

### 6.1 Création de la nouvelle trace

- Il faut se placer dans une "fenêtre" libre (clic-droit > Créer fenêtre)
- Menu Trace > New Trace.
- Sélectionner les tracés correspondants aux ports utilisés (S33, S34, S43, S44 par exemple)
- Sélectionner un Channel disponible pour ne pas risquer d'influencer d'autres mesures sur d'autres fenêtres.

### 6.2 Paramètres du VNA

**Nombre de points :** 12801 (menu Sweep)

**Puissance :** -20dB et Power On (Menu Power)

**Gamme de mesure :** 1GHz - 20GHz et 4-8GHz

**IF Bandwidth :** 1kHz (menu Avg)

### 6.3 Calibration du VNA

Avant toute mesure il faut calibrer le VNA. Nous utilisons la calibration électronique (Boîtier N4691-6006).

Menu Response > Cal Wizard

Use Electronic Calibration (ECal) > 2 Ports (sélectionner les ports branchés) > ECal Thru As... (do Orientation)

Cliquer sur Measure > Finish (pas Save).

### 6.4 Lancement d'une mesure

Vérifier que l'on est en Power On. Dans le menu Trigger, cliquer sur Single (mesure unique).

### 6.5 Enregistrement d'une mesure

File > Save As. Filetype : CSV.

Les fichiers sont nommés dans le format "yyyymmdd\_cableX\_GammeDeFréquences.csv".

## 7 Tâbles de câblage

L'"entrée" est à gauche, la "sortie" en haut de chaque tableau.

Les indices en rouge correspondent aux lignes haute impédance (= utilisables avec les grilles rapides)

### 7.0.1 Câbles en manganin

Les indices de l'entrée sont numérotés à partir du scotch métallisé.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1				33.3													
2			32.9														
3																32.5	
4										32.3							
5													32.8				
6						33.0											
7									33.1								
8																	32.8
9								33.1									
10														34.0			
11		32.7															
12															32.8		
13							33.0										
14					33.3												
15												32.7					
16											32.9						
17	32.8																

### 7.0.2 Câbles bleus blindés (tresse)

Résistance de tous les fils :  $0.2 - 0.3\Omega$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1														×			
2		×															
3				×													
4					×												
5																×	
6												×					
7			×														
8															×		
9											×						
10										×							
11							×										
12													×				
13	×																
14								×									
15						×											
16									×								
17																	×

### 7.0.3 Boîtier de filtrage

Résistance de tous les fils :  $0.2 - 0.3\Omega$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1									×								
2				×													
3																	×
4					×												
5														×			
6							×										
7																×	
8												×					
9						×											
10											×						
11			×														
12								×									
13															×		
14		×															
15													×				
16	×																
17										×							