

Guide de câblage du cryostat à dilution

Félix Piédallu

Juin 2015

Table des matières

1 Câbles coaxiaux	1
1.1 Guide de fabrication des câbles	1
1.2 Thermalisation des câbles RF	4
1.3 Connexion au porte-échantillon	4
2 Lignes DC	5
2.1 Soudure des prises uD	5
2.2 Presses de thermalisation	5
2.3 Boîtier de thermalisation	5
2.4 Tresse	5
2.5 Boîtier de filtrage	5
2.5.1 Connexions du bloc	5
2.5.2 Compartimentage du bloc	6
2.5.3 Préparation de l'Écosorb	6
2.6 Connexion avec la canne	6
3 Références utiles	7
3.1 Vis	7
4 Caractérisation des câbles au VNA	7
4.1 Création de la nouvelle trace	7
4.2 Paramètres du VNA	7
4.3 Calibration du VNA	7
4.4 Lancement d'une mesure	7
4.5 Enregistrement d'une mesure	7
5 Tâbles de câblage	8
5.1 Câbles en manganin	8
5.2 Câbles bleus blindés (tresse)	8
5.3 Boîtier de filtrage	9

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.



FIGURE 2 – Pin centrale soudée sur le câble

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.

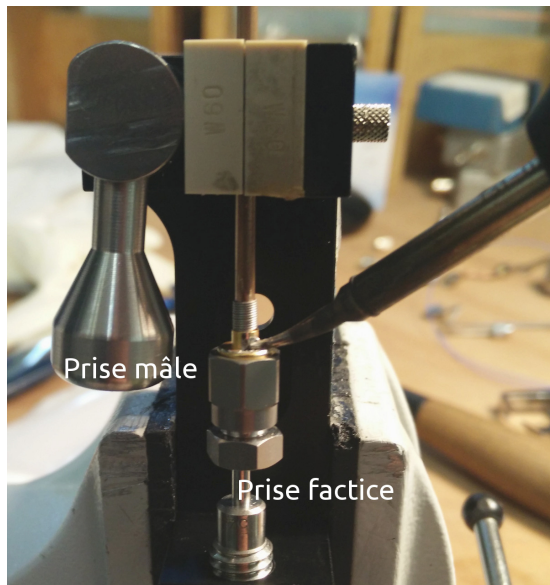


FIGURE 3 – Soudure de la prise extérieure

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 enfonce le diélectrique. On place l'isolant à l'intérieur, et on pousse d'un coup avec le "burin".

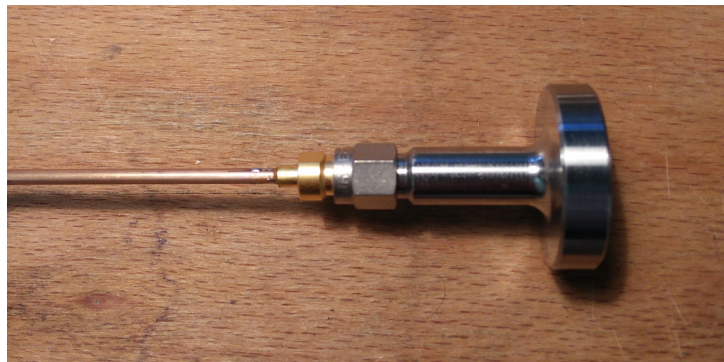


FIGURE 4 – Fixation de l'isolant

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.

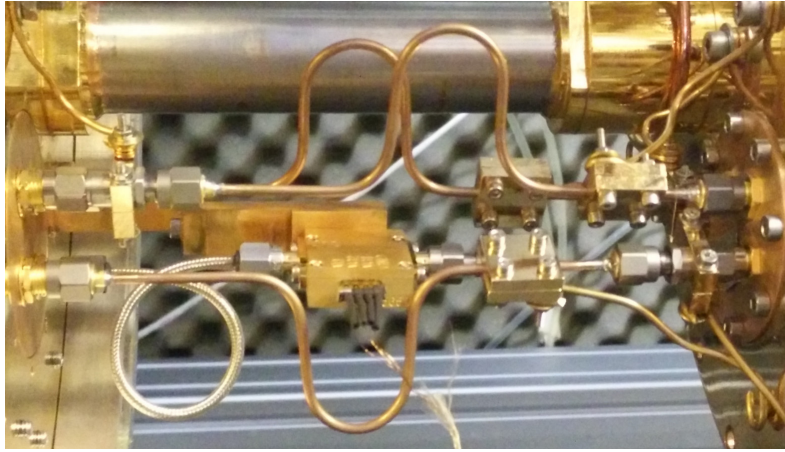
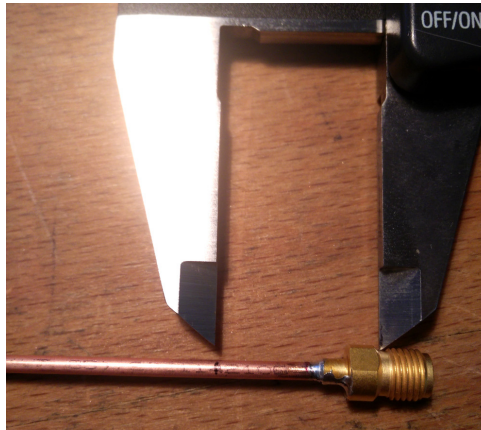


FIGURE 5 – Câbles coaxiaux cintrés en "U" et connectés

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

1.3 Connexion au porte-échantillon

Les lignes RF arrivent par les trous sur la partie supérieure du tube. On place des double connecteurs (?) afin de relier les câbles semi-rigides aux câbles du porte-échantillon.

À l'intérieur, câble est semi-rigide tandis que les 3 autres sont flexibles (pour faciliter le branchement).

2 Lignes DC

Les lignes DC sont connectées par des prises μD , 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 μD

Les prises μD 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 Presses 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.

Il faut faire attention aux câbles qui se superposent : cela peut rendre le contact thermique mauvais pour l'ensemble des câbles.

On utilise une batterie au plomb pour faire poids pendant quelques heures.

2.3 Boîtier de thermalisation

Voilà.

2.4 Tresse

Entre les boîtiers de thermalisation et de filtrage, les câbles bleus sont blindés par une tresse d'aluminium. Il est préférable de faire passer les câbles une fois qu'une (seule) prise μD est soudée.

Cette tresse sera soudée sur les prises μD et maintenue grâce à des plaques métalliques afin de la thermaliser.

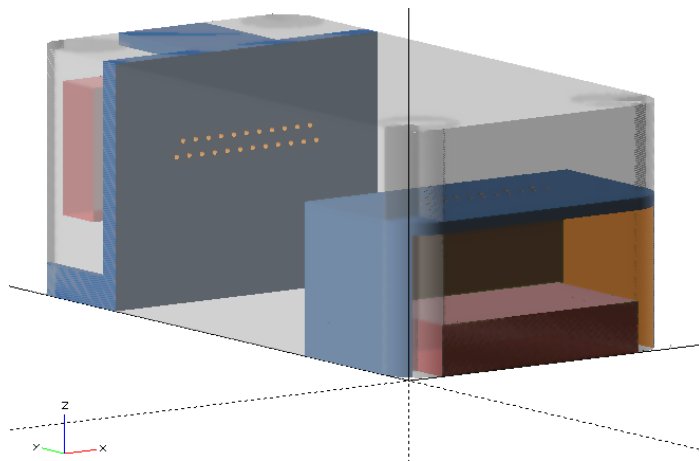
2.5 Boîtier de filtrage

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

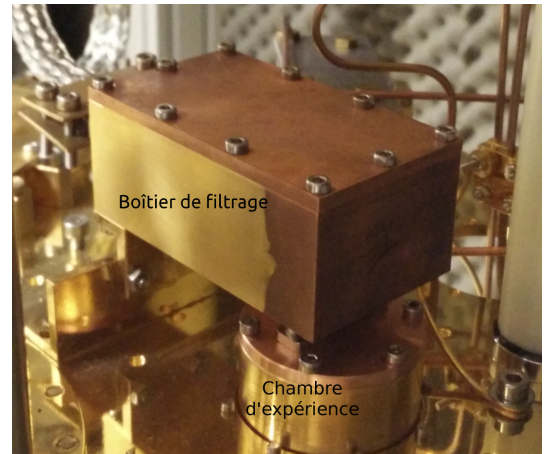
On utilise 17 câbles bleus de 80cm (faible résistivité). Ces câbles sont entortillés autour d'une chute de câble coaxial. On les passe alors d'abord dans les pièces en PLA puis on les soude sur les prises μD .

2.5.1 Connexions du bloc

Le bloc est connecté grâce à des prises μD . Les vis d'entrée sont "maison", les vis de sortie sont des vis Allen 2.5mm. Faire attention à l'orientation de la prise de sortie en fonction de la prise correspondante sur la canne du porte-échantillon.



(a) Modélisation 3D des pièces dans le boîtier



(b) Boîtier de filtrage en place dans le cryostat

FIGURE 6 – Boîtier de filtrage, rempli d'Eccosorb

2.5.2 Compartimentage du bloc

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.

2.5.3 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) et à l'abri.

B.o.M :

- 10 × Vis M2
- 2 × Prises μ D femelle
- 4 × Vis M1 + écrou + 2 rondelles (pour les prises)

2.6 Connexion avec la canne

On utilise une prise μ 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 (des traits au feutre noir indiquent le sens sur ce que j'ai fait).

Le boîtier cylindrique et son couvercle (à fixer après la prise...) sont vissés par des vis M2. Les lignes sont ensuite connectées par des barrettes au porte-échantillon.

B.o.M :

- 0 × Vis M2
- 1 × Prise μ D mâle
- 17 × Barette de connexion

3 Références utiles

3.1 Vis

Vis M2 (10mm, 16mm, 20mm) [http://www.conrad.fr/ce/fr/overview/2304110/Vis-metriques?filterCatégorie=vis+cylindrique&filterNorme+DIN+\(vis\)=DIN+912&filterTaille+du+filetage=M2&filterPropriétés+du+matériau=A4&sort=Title-asc](http://www.conrad.fr/ce/fr/overview/2304110/Vis-metriques?filterCatégorie=vis+cylindrique&filterNorme+DIN+(vis)=DIN+912&filterTaille+du+filetage=M2&filterPropriétés+du+matériau=A4&sort=Title-asc)

4 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.

4.1 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.

4.2 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)

4.3 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).

4.4 Lancement d'une mesure

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

4.5 Enregistrement d'une mesure

File > Save As. Filetype : CSV.

Les fichiers sont nommés dans le format "yyyymmdd_cableX_GammeDeFréquences.csv".

5 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)

5.1 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																

5.2 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																	×

5.3 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										×							