

Mise en place d'une expérience à très basse température et étude d'effets quantiques dans des systèmes nanométriques

Félix Piédallu

Filière PNS 2014-2015



Sous la direction de Takis Kontos et Laure Bruhat

1 L'expérience

- Injection de paires de Cooper dans un nanotube de carbone
- Interaction avec un rayonnement micro-ondes
- Nécessités de qualité d'environnement et de mesure

2 Le cryostat à dilution

- Principe du cryostat
- La dilution sèche

3 Schéma de câblage du cryostat

4 Le câblage DC

- Choix des matériaux
- Thermalisation électronique
- Blindage des câbles

5 Le câblage RF

- Choix des matériaux
- Fabrication d'un câble coaxial

6 Caractérisation des câbles coaxiaux

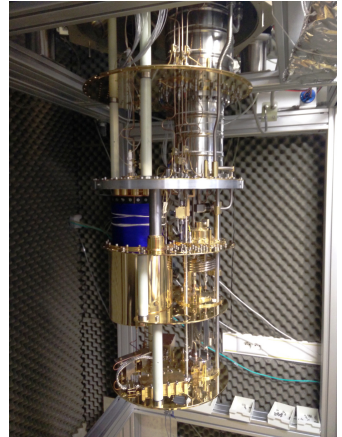
Introduction

Hybrid Quantum Circuits

Nanotubes de carbone dans une cavité résonnante, soumis à des radiations micro-ondes

Contexte du stage

Câblage d'une expérience dans un cryostat à dilution



Cryostat à dilution sèche

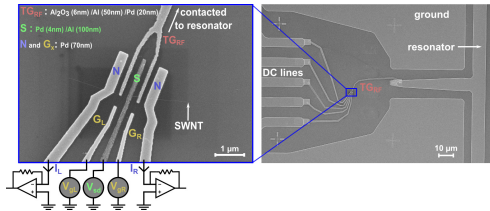


Injection de paires de Cooper dans un nanotube de carbone

Source : injection de paires de Cooper intriquées

Grilles rapides : connectées au résonateur, injection de rayonnement μ Ondes

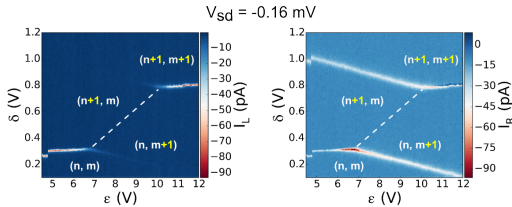
Sorties : mesure du courant à travers chaque puits quantique



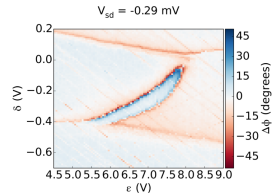
Électrodes en contact avec le nanotube de carbone (SWNT)



- Fréquence de résonance propre de la cavité
~ 6.65GHz
- Variation des potentiels des puits quantiques
→ Modification de l'impédance de la cavité
→ Modification des courants dans les puits quantiques



Blocage de Coulomb (courant dans un puits quantique)



Impédance de la cavité



Nécessités de qualité d'environnement et de mesure

Cohérence spatiale

- Pas de bruit thermique
- Cryostat
- Lignes électroniques thermalisées

Bon rapport signal/bruit

- Choix cohérent des matériaux

Connaissance parfaite des conditions de mesure

- Caractérisation des câbles

- Extraction de l' ^3He du mélange dans le réservoir ($Pp_{^3\text{He}} \gg Pp_{^4\text{He}}$)
- Réinjection de l' ^3He dans la chambre de mélange
- Dilution de l' ^3He dans la phase diluée
Réaction endothermique \rightarrow Puissance calorifique

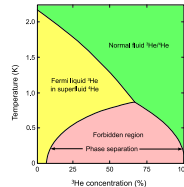
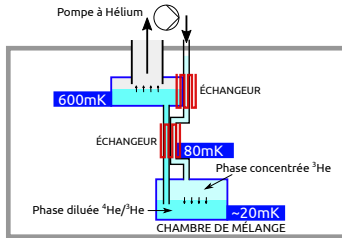


Schéma du cryostat à dilution et diagramme de phase du mélange d'Hélium

■ Lignes Haute Fréquence

- Grilles Rapides
- Source (de paires de Cooper intriquées)
- Remontée (mesure de l'impédance de la cavité)

■ Lignes Continues

- Potentiels des puits quantiques (Grilles)
- Mesures de courant

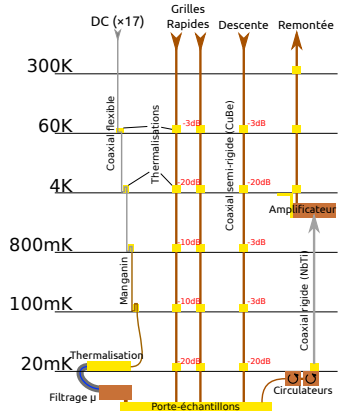
Limiter le bruit thermique des câbles

→ Résistivité élevée

Conserver un bon rapport signal/bruit

→ Atténuateurs

L'inverse en remontée (Peu d'atténuation)



Choix des matériaux

300K \rightarrow 800mK

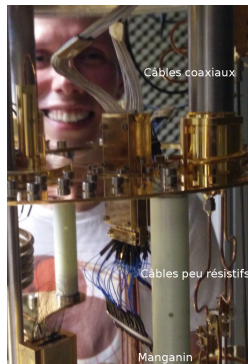
Câbles coaxiaux

800mK \rightarrow 20mK

Manganin (résistif)

20mK \rightarrow porte-échantillons

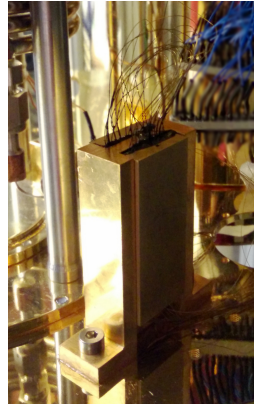
Câbles peu résistifs



Aperçu des câbles DC

Thermalisation à chaque étage

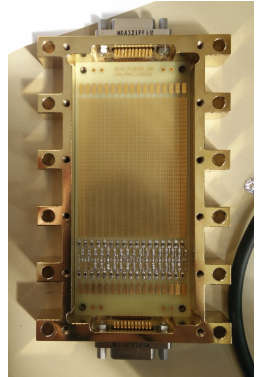
- Diminuer le bruit électronique au fur et à mesure
- Presses dorées à chaque étage
- Stycast (époxy cryogénique)
- Câbles résistifs pour isolation thermique



Fils de Manganin "stycastés"

Boîtier de thermalisation électronique

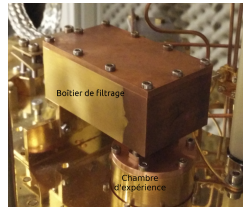
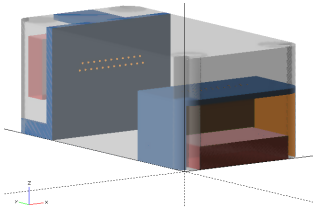
- Dernière thermalisation à 20mK (Méandres)
- Filtre passe-bas (premier filtrage)



Boîtier de thermalisation non soudé

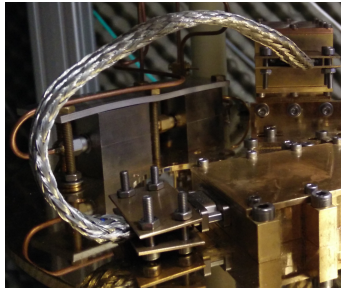
Boîtier de filtrage micro-ondes

- Filtrage micro-ondes grâce à l'Eccosorb
- Compartimentage du boîtier
→ Impression 3D de prises



Boîtier modélisé, puis une fois installé

- Protection au rayonnement des étages supérieurs
- Protection au champ magnétique



Tresse connectée aux boîtiers de thermalisation et de filtrage

Descente jusqu'à 20mK

Cuivre-Béryllium (impédance élevée)

Étage 20mK

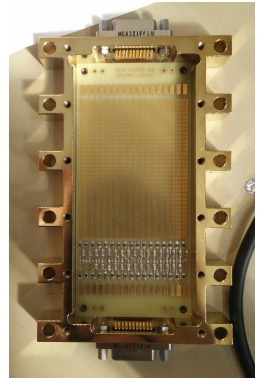
Cuivre (faible impédance)

Remontée à 4K

Niobium-Titane (très faible impédance)

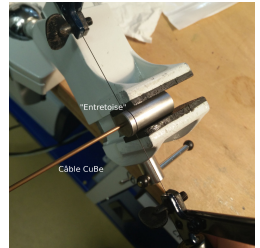
Remontée (après ampli à 4K)

Cuivre-Béryllium



Les différents câbles coaxiaux

Dénudage



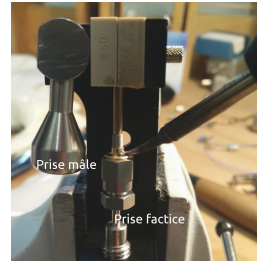
Dénudage d'un câble coaxial

Soudure de la pin centrale



Dénudage d'un câble coaxial

Prise extérieure



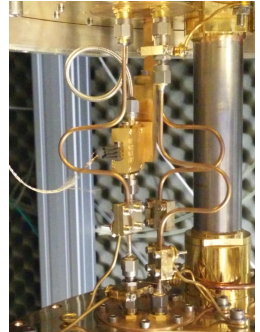
Dénudage d'un câble coaxial

Emboutissage de l'isolant



Dénudage d'un câble coaxial

Cintrage du câble



Câbles coaxiaux cintrés en place

