

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

Filière PNS 2014-2015

Félix Piédallu

Grenoble INP Phelma

5 octobre 2015



Sous la direction de Takis Kontos et Laure Bruhat

- 1 L'expérience
- 2 Le cryostat à dilution
- 3 Schéma de câblage du cryostat
- 4 Le câblage DC
- 5 Le câblage RF
- 6 Caractérisation des câbles coaxiaux
- 7 Conclusion

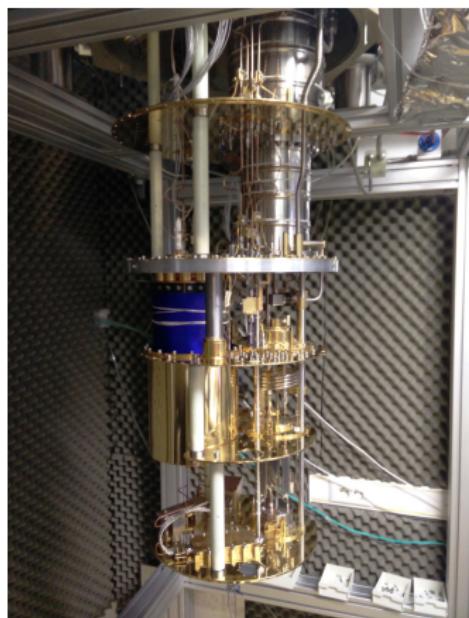
Introduction

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

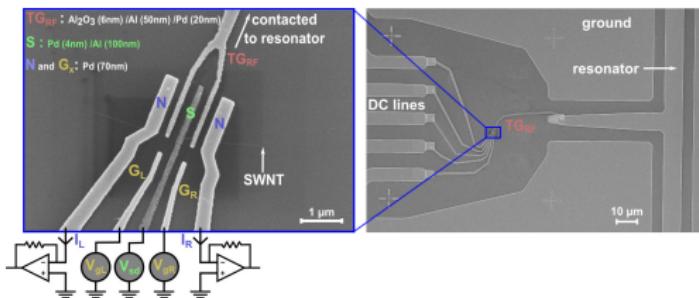


Injection de paires de Cooper dans un nanotube de carbone

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

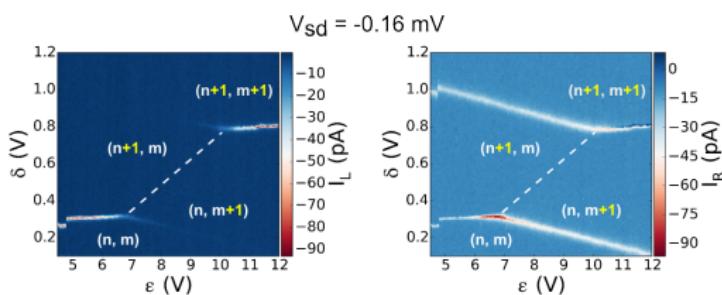


Électrodes en contact avec le nanotube de carbone (SWNT)

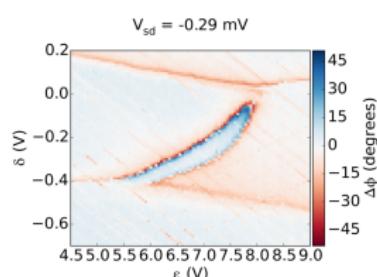


Interaction avec un rayonnement micro-ondes

- 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

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

Principe du cryostat

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

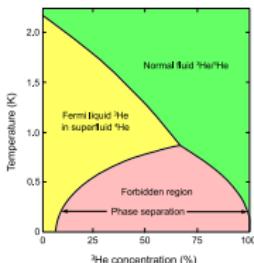
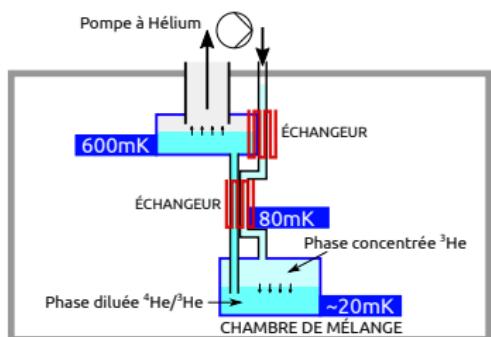


Schéma du cryostat à dilution et diagramme de phase du mélange d'Hélium



La dilution sèche

■ 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



Choix des matériaux

Choix des matériaux

$300\text{K} \rightarrow 800\text{mK}$

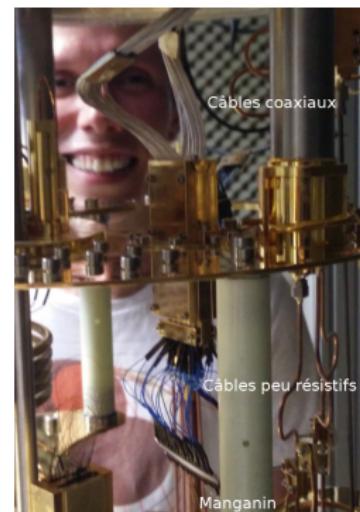
Câbles coaxiaux

800mK → 20mK

Manganin (résistif)

20mK → porte-échantillons

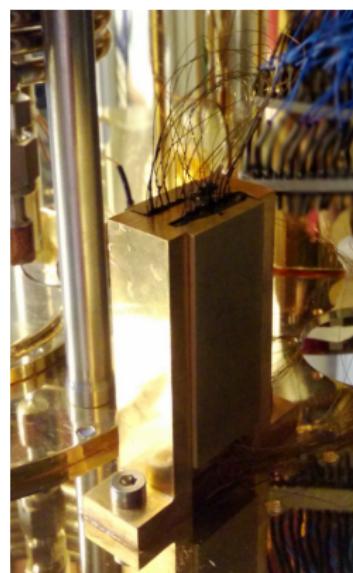
Câbles peu résistifs



Aperçu des câbles DC

Thermalisation à chaque étage

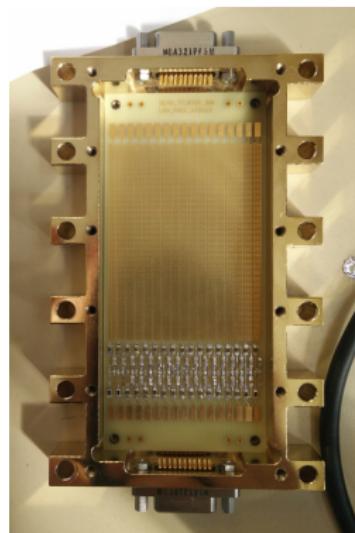
- Diminuer le bruit électronique au fur et à mesure
 - Presses dorées à chaque étage + Stycast (époxy cryogénique)
 - Câbles résistifs pour isolation thermique



Fils de Manganim "stycastés"

Boîtier de thermalisation électronique

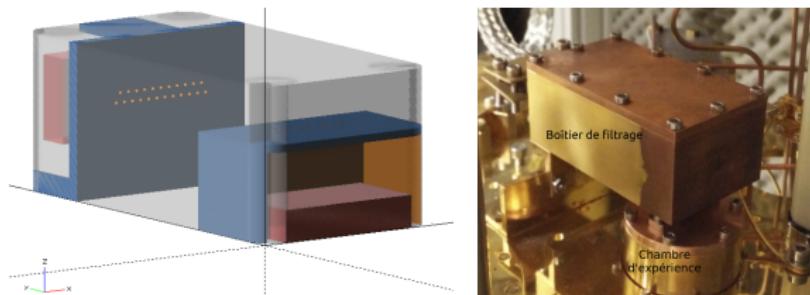
- Dernière thermalisation à 20mK (Méandres)
 - Filtre passe-bas (premier filtrage)



Boîtier non soudé

Boîtier de filtrage micro-ondes

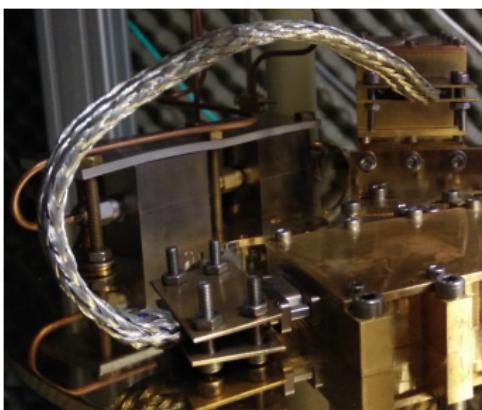
- Filtrage micro-ondes grâce à l'Eccosorb
- Compartimentage du boîtier
 - Impression 3D de séparations



Boîtier modélisé, puis une fois installé

Blindage des câbles

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



Tresse connectée aux boîtiers de thermalisation et de filtrage



Choix des matériaux

Descente jusqu'à 20mK

Cuivre-Béryllium (impédance élevée)

Étage 20mK

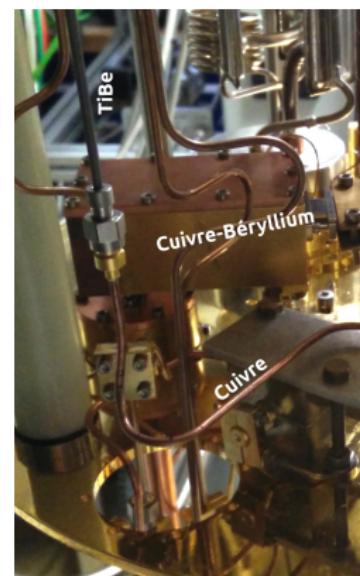
Cuivre (faible impédance)

Remontée à 4K

Niobium-Titane
(très faible impédance)

Remontée (après ampli à 4K)

Cuivre-Béryllium



Les différents câbles coaxiaux

Fabrication d'un câble coaxial

Dénudage et soudure de la pin centrale

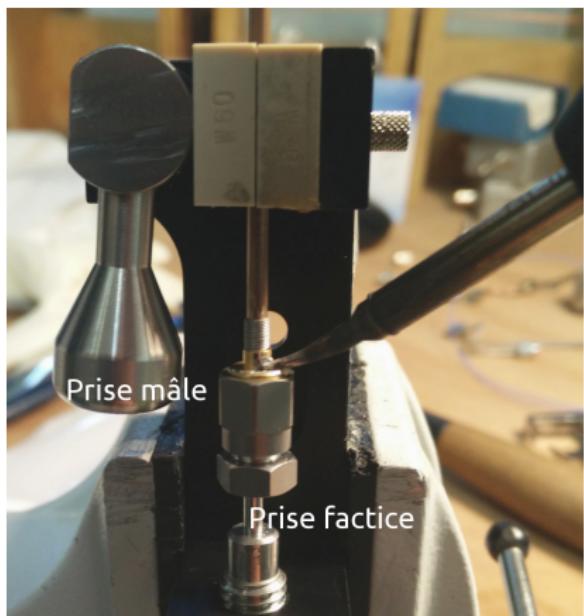


Pin centrale soudée

Dénudage d'un câble coaxial

Fabrication d'un câble coaxial

Prise extérieure et diélectrique



Soudure de la prise extérieure



Emboutissage du diélectrique

Fabrication d'un câble coaxial

Cintrage et thermalisation des câbles coaxiaux

Cintrage des câbles

- souplesse
 - "filtrage" des photons

Thermalisation

- Pinces dorées
 - Câbles de cuivre dorés



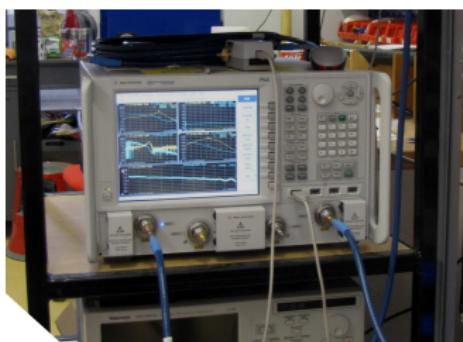
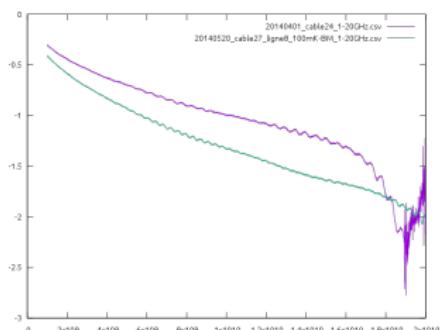
Câbles coaxiaux cintrés en place

Utilisation du PNA

Le Performance Network Analyzer

ou Vector...

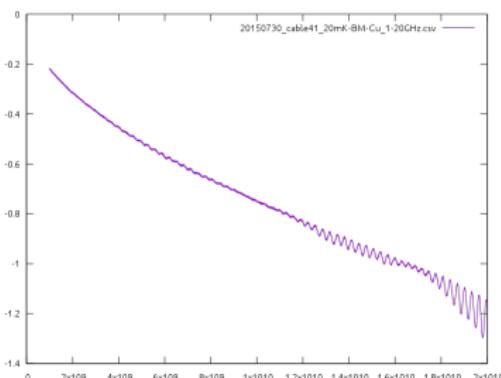
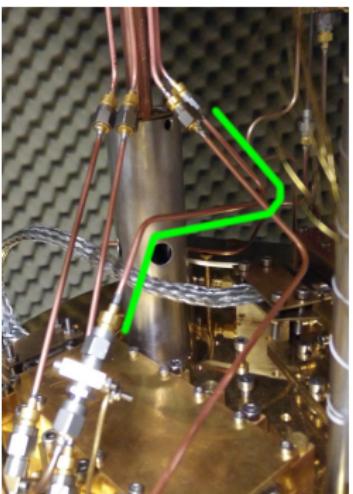
- Vérifier l'intégralité des câbles
- Connaître parfaitement des câbles



Le PNA de l'équipe

Un câble correct (vert) et un abîmé (violet)

Utilisation du PNA



Câble très cintré à bonne caractéristique

Conclusion

- Découverte de l'environnement d'un laboratoire de recherche
- Aperçu des contraintes d'une expérience
- Mise en place d'une expérience et utilisation d'un cryostat à dilution
- Guide de câblage

Introduction	L'expérience	Le cryostat à dilution	Schéma de câblage du cryostat	Le câblage DC	Le câblage RF	Caractérisation des câbles coaxiaux	Conclusion
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<input type="radio"/>				<input type="radio"/>			

Merci de votre attention !

Place aux questions.